

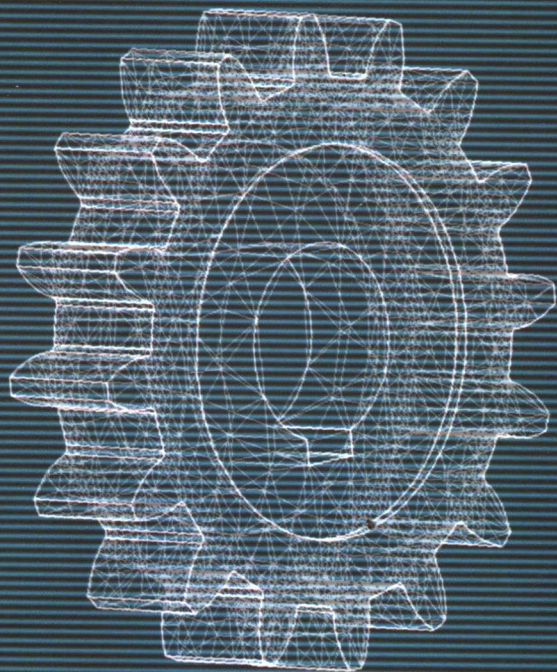
材料科学与工程



国防
科工委
十五
规划
教材

材料成形原理与工艺

● 应宗荣 主编



哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·材料科学与工程

材料成形原理与工艺

应宗荣 主编

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

RAX24/07

内容简介

本书以成形原理与工艺为主线,介绍金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大材料的成形原理和成形工艺。全书分为材料成形原理篇和材料成形工艺篇两个部分。材料成形原理篇包括材料的结构与成形性、材料成形的流变学基础、成形过程中的固化、物理化学变化(包括结晶、取向、化学冶金、降解和交联)、粉末烧结理论以及成形缺陷与控制等内容。材料成形工艺篇着重介绍浇铸成形、挤出成形、注射成形、压制成形、压延成形、塑性成形、粉末成形与烧结、连接成形和热处理等基本工艺,并简要介绍复合材料成形、气相沉积、多孔制品成形、玻璃制品成形和金属纤维成形等特殊工艺。

本书可作为高等学校材料科学与工程类专业及相关专业本科生的专业基础理论课程教材和研究生的专业选修课程教材,也可供从事金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料研究、生产与使用的科研工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形原理与工艺/应宗荣主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.12

ISBN 7-5603-2109-7

I. 材… II. 应… III. 工程材料-成形-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 141991 号

材料成形原理与工艺

主 编 应宗荣

责任编辑 田 秋

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 (150006)

发行部电话:0451-86416203

E-mail: press@0451.com

肇东粮食印刷厂印刷 各地书店经销

开本:787×960 1/16

印张:35.25 字数:743 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

印数:3 000 册

ISBN 7-5603-2109-7/TB·49 定价:48.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:	王 祁	王文生	王泽山	田 蔚	史仪凯
	乔少杰	仲顺安	张华祝	张近乐	张耀春
	杨志宏	肖锦清	苏秀华	辛玖林	陈光禡
	陈国平	陈懋章	庞思勤	武博祎	金鸿章
	贺安之	夏人伟	徐德民	聂 宏	贾宝山
	郭黎利	屠森林	崔锐捷	黄文良	葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技



新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,



提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料的许多概念、性质和现象是极其相似相通的,它们实质上是一个不可分割的整体。在材料成形工程领域,这些材料的成形原理更是互通互鉴并相互促进,它们的许多工艺包括工艺原理和工艺过程都极其相似甚至完全雷同。掌握这些材料成形的共性原理和全面熟悉这些材料的成形工艺,将有助于融通材料的成形问题,这对于从事特定分支材料成形理论、工艺和应用研究的科研工程技术人员,借鉴其它分支材料的成形原理与工艺来发展成形新理论、开发成形新工艺以及移植成形技术等具有重要意义。本书即以此为出发点,打破材料内部界线,系统讲述金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大材料的成形原理与成形工艺。

本书具有以下特点:(1)以成形原理与工艺为主线,突破材料内部各自自我封闭的传统壁垒,系统讲述四大材料成形的共性基本原理和共通成形工艺,便于学生掌握和融通材料的成形问题。(2)除成形原理与工艺这一主线(明线)外,本书还有一条暗线,即本书尽量做到基本涵盖四大材料涉及的成形原理和成形工艺,因此除讲述四大材料成形的共性原理与主要工艺外,还介绍一些特殊成形原理与工艺,使四大材料的成形原理与成形工艺体系在本书基本上得到了较完整和全面的反映。(3)在介绍具体成形工艺时,既注意说明工艺过程,也注重讲述工艺原理,并适当介绍一些应用实例。(4)介绍材料成形原理与工艺时,以比较成熟的基本理论和重要工艺为主体,同时适当简要介绍了一些成形新理论、新工艺以及发展现状与趋势。

本书分为材料成形原理篇和材料成形工艺篇两个部分。材料成形原理篇包括材料的结构与成形性、材料成形的流变学基础、成形过程中的固



化、物理化学变化(包括结晶、取向、化学冶金、降解和交联)、粉末烧结理论以及成形缺陷与控制等内容。材料成形工艺篇着重介绍浇铸成形、挤出成形、注射成形、压制成形、压延成形、塑性成形、粉末成形与烧结、连接成形和热处理等基本工艺,并简要介绍复合材料成形、气相沉积、多孔制品成形、玻璃制品成形和金属纤维成形等特殊工艺。在讲授本书时,各学校可根据专业的具体情况,对内容灵活取舍,可采用部分重点讲授、部分简要介绍以及部分课外自学等相结合的方式安排教学课时。

参加本书编写工作的有:南京理工大学应宗荣(绪论,第一、三、十、十一、十二、十三章,2.1~2.3、2.6~2.7、4.2、5.2、9.2、14.4、15.4节,散见于其它章节的高分子材料方面内容和全书各章小结)、林雪梅(第八、十七、十八章和2.4~2.5、15.1、15.2、16.2节),西北工业大学姚泽坤(7.2节和14.1~14.3节),北京航空航天大学周铁涛(4.1、5.1、7.1节和9.1节)、刘培英(16.1节),西北工业大学刘东(第六章和15.3节)。本书由应宗荣主编,制定写作大纲和对稿件进行删改、校核与统稿。

本书是国防科工委“十五”规划教材,国防科工委和南京理工大学对本书的编写和出版给予了经济资助与大力支持。国防科工委“十五”规划教材立项评审专家组和审稿专家对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。此外,在本书的编写过程中,还得到了编者同事和研究生的关心、支持与帮助,在此一并表示谢忱。

本书的编写思想和编写结构是一种新的尝试,同时限于编者水平和时间仓促,书中难免有处理不当以及疏漏之处,恳望专家和读者指正。

主编 应宗荣

2004年7月

目 录

绪 论	(1)
0.1 材料种类与应用	(1)
0.2 材料成形原理和工艺体系	(6)
0.3 材料成形的基本过程	(9)
0.4 成形制品时材料及其成形工艺的选择	(11)
本章小结	(12)
复习思考题	(12)
参考文献	(12)

第一篇 材料成形原理

第一章 材料的结构与成形性	(15)
1.1 材料的结构与特性	(15)
1.2 材料的形变	(38)
1.3 材料的成形工艺性能	(50)
本章小结	(62)
复习思考题	(64)
参考文献	(65)
第二章 材料成形的流变学基础	(66)
2.1 液体的流动特性概述	(66)
2.2 流体的剪切流动	(68)
2.3 流体的拉伸流动	(77)
2.4 悬浮液流变学	(80)
2.5 流体在圆形流动道中的流动分析	(84)
2.6 流体在流动过程中的弹性行为	(89)
2.7 流体流变性能的测量方法	(94)
本章小结	(98)
复习思考题	(99)
参考文献	(99)
第三章 成形过程中材料的固化	(100)
3.1 冷却凝固	(100)
3.2 传质固化	(121)
3.3 化学反应固化	(127)



本章小结	(134)
复习思考题	(135)
参考文献	(136)
第四章 材料在成形过程中的物理变化	(137)
4.1 材料在成形过程中的结晶	(137)
4.2 材料在成形过程中的取向	(164)
本章小结	(173)
复习思考题	(174)
参考文献	(175)
第五章 材料在成形过程中的化学变化	(176)
5.1 金属成形过程中的化学冶金学	(176)
5.2 聚合物成形过程中的降解与交联	(199)
本章小结	(206)
复习思考题	(207)
参考文献	(208)
第六章 粉末烧结理论	(209)
6.1 粉末的烧结过程	(209)
6.2 烧结的扩散理论	(210)
6.3 烧结的流动理论	(226)
6.4 烧结的几何理论	(230)
本章小结	(234)
复习思考题	(235)
参考文献	(235)
第七章 材料成形缺陷及其控制	(236)
7.1 材料固化过程的缺陷与控制	(236)
7.2 材料塑性成形过程的缺陷与控制	(248)
本章小结	(257)
复习思考题	(257)
参考文献	(258)

第二篇 材料成形工艺

第八章 成形物料的准备与配制	(261)
8.1 物料的预处理	(261)
8.2 物料的混合	(264)
8.3 物料的配制	(268)
本章小结	(278)
复习思考题	(278)



参考文献	(279)
第九章 浇铸成形	(280)
9.1 金属浇铸成形	(280)
9.2 聚合物浇铸成形	(310)
本章小结	(317)
复习思考题	(318)
参考文献	(319)
第十章 挤出成形	(320)
10.1 挤出成形原理	(321)
10.2 挤出成形工艺流程	(331)
10.3 挤出成形的应用	(333)
10.4 挤出成形的发展	(340)
本章小结	(342)
复习思考题	(343)
参考文献	(344)
第十一章 注射成形	(345)
11.1 注射成形原理	(345)
11.2 注射成形工艺	(354)
11.3 注射成形的应用和发展	(359)
本章小结	(365)
复习思考题	(366)
参考文献	(367)
第十二章 压制成形	(368)
12.1 模压成形	(368)
12.2 传递模塑	(374)
本章小结	(377)
复习思考题	(377)
参考文献	(378)
第十三章 压延成形	(379)
13.1 压延成形原理	(379)
13.2 热塑性塑料压延成形	(382)
13.3 橡胶压延成形	(388)
本章小结	(392)
复习思考题	(392)
参考文献	(393)
第十四章 塑性成形	(394)
14.1 金属冲压成形	(394)
14.2 金属锻造成形	(401)



14.3 金属其它塑性成形工艺及发展	(410)
14.4 聚合物塑性成形	(424)
本章小结	(436)
复习思考题	(437)
参考文献	(437)
第十五章 粉末成形与烧结	(439)
15.1 粉末的特性与制备	(440)
15.2 粉末成形	(446)
15.3 坯体烧结	(459)
15.4 聚合物冷压烧结	(469)
本章小结	(472)
复习思考题	(472)
参考文献	(473)
第十六章 连接成形	(474)
16.1 焊接	(474)
16.2 粘接	(498)
本章小结	(505)
复习思考题	(506)
参考文献	(507)
第十七章 热处理	(508)
17.1 普通热处理	(508)
17.2 表面热处理	(516)
17.3 固溶与时效处理	(518)
17.4 聚合物热处理	(520)
本章小结	(522)
复习思考题	(523)
参考文献	(523)
第十八章 特殊成形	(524)
18.1 复合材料成形	(524)
18.2 气相沉积	(532)
18.3 多孔制品成形	(538)
18.4 玻璃制品成形	(541)
18.5 金属纤维成形	(545)
本章小结	(546)
复习思考题	(547)
参考文献	(547)

绪 论

材料要获得应用和发展必须具有两个基本的条件,一是材料必须具有能满足特定应用场合所要求的合适性能,二是要有经济有效的成形方法将其成形为特定形状的制品。因此材料工业包括了材料制备工业和制品加工工业两大工业体系,制品加工工业是材料工业的两极之一,它与材料制备工业(如金属的冶金工业、聚合物的合成工业)相互关联、互相依存并且相互促进。

材料总是以一定的制品形式获得应用的,而材料要变成制品必须经历一定的成形工艺过程。成形工艺过程既赋予制品所需要的形状,又直接影响制品的微观结构和宏观性能。因此掌握制品成形工艺方法与成形行为、制品结构的形成过程与规律、制品结构与制品性能关系、制品成形工艺条件对制品质量的影响规律等,对于在制造特定制品时指导材料及成形工艺方法的选择、成形工艺过程与条件的确定以及设备与模具的设计和选用等都具有重要的意义。本课程的基本任务就是阐明制品成形的基本原理和工艺方法,为指导制品生产打下必要的理论基础。

0.1 材料种类与应用

材料是人类进行生产生活和与大自然作斗争的物质基础,今天它与能源、信息和生物技术共同构成了现代科学技术的四大支柱。材料作为用来制造机器零件、构件和其它可供使用制品的物质,按化学组成特征,可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料。

一、金属材料

金属材料是目前应用最广泛、用量最大的材料,是现代机械制造工业的最主要材料。在各种机床、矿山机械、冶金设备、动力设备、农业机械、交通运输设备、航空航天器、现代兵器中,金属制品占 80% ~ 90%,金属材料在材料领域中占有举足轻重的地位。

金属材料按组成可分为纯金属和金属合金两大类。由于金属合金比纯金属有更好的力学性能和工艺性能,且成本低,因而实际中多使用金属合金。金属合金是一种以金属元素为基础,加入其它金属或非金属元素经熔炼或烧结而制成的、具有金属特性的材料。最常用的金属合金是以铁(Fe)和碳(C)为基础的铁碳合金,其用量占整个金属材料的 90% 以上。

铁碳合金通常称为钢铁或黑色金属,分为钢和铸铁两大类。钢是指碳质量分数小于 2.11% 的铁碳合金,是使用最广泛的金属材料,产量占金属材料的 90% 以上,1990 年世界钢产



量为 6.85 亿 t, 中国 2000 年钢产量为 1.285 亿 t。根据钢的化学成分, 钢又可以分为碳素钢(简称碳钢)和合金钢两大类。碳钢除含主要成分铁和碳外, 还含有少量的硅(Si)、锰(Mn)、磷(P)、硫(S)等元素。碳钢具有良好的工艺性能和较好的机械性能, 且价格低廉, 应用最广泛, 其产量占钢产量的 80% 以上。为了改善和提高钢的性能, 在碳钢基础上有针对性地加入某些元素, 这种钢称为合金钢, 它主要用来制造性能要求高的机械零部件。

碳质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁, 除含铁和碳外, 它还含有 Si、Mn、P、S 及某些合金元素, 其质量分数大致为: $w(\text{C}) = 2.5\% \sim 4.0\%$, $w(\text{Si}) = 1.0\% \sim 3.0\%$, $w(\text{Mn}) = 0.5\% \sim 1.4\%$, $w(\text{P}) = 0.01\% \sim 0.5\%$, $w(\text{S}) = 0.02\% \sim 0.2\%$ 。与钢相比, 主要区别在于铸铁含 C、Si 较高, 含 P、S 杂质元素较多, 所以其组织和性能与钢差别较大, 铸铁的铸造性能优良但物理机械性能不如钢。铸铁是重要的工程材料, 中国 2000 年的铸铁产量近 1 000 万 t, 铸铁主要应用于农业机械、汽车拖拉机、机床制造等领域。

除钢铁以外的各种金属材料又称非铁材料或有色金属, 如铝(Al)、铜(Cu)、镁(Mg)和钛(Ti)等。有色金属的种类很多, 其用量和产量不及钢铁, 但由于它们具有某些独特的性能和优点, 在空间技术、航海、原子能、计算机等新型工业部门获得了重要的应用, 已成为现代工业中不可缺少的重要材料。2000 年中国 10 种常用有色金属及其合金的年产量已超过 800 万 t。

铝是地壳中储量最丰富的金属元素, 约占地壳总质量的 8.2%, 居四大金属 Al、Fe、Mg 和 Ti 之首。铝具有良好的塑性和韧性以及仅次于银、铜的导电性和导热性, 广泛用做导电材料和热传导材料。但纯铝强度低, 不宜做结构材料, 为了提高其强度, 通常加入一定量的合金元素(如 Si、Cu、Mg、Mn 等)制成铝合金。铝合金广泛用做飞机结构材料、舰船构件、各种缸体、壳体及其它制件。

铜及其合金按其颜色分为紫铜、黄铜、青铜和白铜, 紫铜即为纯铜, 其它 3 种为铜合金。纯铜塑性高、强度低, 有优良的低温韧性, 突出的优点是优良的导电性和导热性及良好的耐腐蚀性(抗大气和淡水腐蚀), 广泛用做电机电器、电线电缆、电刷、防磁机械、化工用传热或深冷设备。以锌、镍或除锌与镍以外的其它元素为主要合金元素的铜合金, 分别为黄铜、白铜和青铜, 铜合金主要用做船用耐腐蚀零件、高温高压管道、冷凝器、弹壳、弹簧、抗磁元件和电工材料等。

钛及其合金资源丰富, 具有比强度高、耐热性好、抗蚀性能优异等突出特点。钛有 α Ti 和 β Ti 两种同素异形体, 其合金一般按退火组织分为 α 钛合金、 β 钛合金和 $\alpha + \beta$ 钛合金。钛及其合金常用做飞机结构材料、发动机部件、柴油机活塞、耐海水腐蚀管道与阀门、低温材料等, 已成为航空、航天、冶金、造船及化工工业重要的结构材料, 但其化学性质非常活泼, 因而加工工艺复杂, 价格昂贵, 其应用领域受到限制。

金属材料的种类如表 0.1 所示。此外, 金属还可按应用性能分为高温合金、弹性合金、轴承合金、低熔点合金、钎焊合金、形状记忆合金、储氢合金等类型, 它们分别应用于各自相应的领域。



表 0.1 金属材料的种类

种 类	范 围
钢	碳素钢:碳素结构钢、碳素工具钢 合金钢:合金结构钢(包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、轴承钢、易切钢等); 合金工具钢(包括刀具钢、模具钢和量具钢等); 特殊性能钢(包括不锈钢、耐热钢和耐磨钢等)
铸 铁	灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、特殊性能铸铁(如耐磨铸铁、耐热铸铁)等
有色金属及合金	铝及铝合金:变形铝合金(包括防锈铝、硬铝、超硬铝和锻铝 4 类); 铸造铝合金(包括铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金、铝锌合金 4 类) 铜及铜合金:紫铜(纯铜)、黄铜、白铜和青铜(包括锡青铜和无锡青铜) 钛及钛合金 其它金属及合金(如镁及其合金)

二、高分子材料

高分子材料是地位仅次于金属材料的一大类新型材料。尽管它是 20 世纪才发展起来的材料,但由于其综合性能优越、成形工艺相对简单和价格低廉等优势,应用领域极其广泛,发展非常迅速。高分子材料又常常称为聚合物、高聚物或高分子化合物,通常可分为塑料、化学纤维和橡胶三大材料,其次还包括粘合剂和涂料等材料。2000 年世界塑料消耗量已达 1.2 亿 t,化学纤维消耗量近 3 000 万 t,橡胶消耗量达 2 000 ~ 3 000 万 t,其中仅塑料消耗量按体积已超过钢铁。高分子材料消耗量按体积已超过金属材料而成为第一大类材料。据测算,100 ~ 150 万 t 塑料可发挥 1 000 万 t 钢铁的作用,代替 1 t 钢所需的塑料的建设投资仅为 1 t 钢所需投资的 1/3 ~ 1/2,而生产 1 t 钢的能耗则为生产相当塑料的 4.5 倍。因此就目前而论,高分子材料的发展速度已远远超过金属材料的发展速度,并已在材料王国占有极其重要的地位。

高分子材料具有质轻、传热系数小、耐腐蚀性良好、电气绝缘性和成形加工性优良、减震消音、透光、易着色等明显的突出特点,且在日常生活和各个工业领域都获得了极其广泛的应用。但高分子材料存在热膨胀系数大、使用温度低(一般不超过 200℃,仅少数品种可达 300 ~ 400℃)、容易燃烧和容易老化等缺点。

塑料按用途和性能可分为通用塑料和工程塑料(见表 0.2)。通用塑料是指生产量大、用途广、价格低廉且成形加工工艺性良好的一类塑料品种,它们约占塑料总产量的 80%。但由于其综合力学性能和耐热性不高,故通常不宜用做结构零件和耐热件。工程塑料是指那些拉伸强度大于 50 MPa、冲击强度大于 $6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、长期耐热温度超过 100℃、耐腐蚀性和电绝缘性优良、可代替金属材料在不同的工程环境中用做承载结构零件的塑料。

塑料可用做饮水杯、椅子、手提箱包、购物袋等日常用品,还可用于做各种家用电器外壳和绝缘构件、塑料门窗、给排水管、农用薄膜、开关、齿轮、轴承、电线电缆包覆物、仪器表盘等,特别是由于其质轻节能,现广泛用于做汽车、火车、飞机、轮船、兵器、航空航天等零部件,此外还可作为军事上的防弹隐身材料等。据估计,1990 年军用结构材料中,塑料及其复合材料占 78%,而



钢铁仅占 15% ~ 19%。据预测,在 21 世纪期间,塑料及其复合材料在航空航天和兵器工业等军事领域将成为主导材料。

表 0.2 高分子三大材料的种类

种类	举 例
塑料	通用塑料:聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、酚醛树脂(PF)、脲醛树脂(UF)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)等 工程塑料:聚酰胺(PA)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚碳酸酯(PC)、聚甲醛(POM)、聚苯醚(PPO)、环氧树脂(E-51)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯树脂(ABS)、聚酰亚胺(PI)等
纤维	人造纤维:粘胶纤维、铜氨纤维、醋酸纤维素纤维、蛋白质纤维等 合成纤维:PET 纤维(涤纶)、PA 纤维(锦纶或尼龙)、聚丙烯腈纤维(腈纶)、聚丙烯纤维(丙纶)、聚氨酯纤维(氨纶)、聚氯乙烯纤维(氯纶)等
橡胶	通用橡胶:顺丁橡胶(BR)、丁苯橡胶(SBR)、丁基橡胶(IIR)、乙丙橡胶(EPR)等 特种橡胶:丁腈橡胶(NBR)、硅橡胶(MQ)、氟橡胶(FPM)、聚硫橡胶等

化学纤维包括人造纤维和合成纤维两大类。人造纤维是指天然原料,如天然纤维素和蛋白质等,经化学改性或处理后再纺丝而制成的纤维。合成纤维是使用化学合成的高分子化合物通过纺丝制成的纤维,其中涤纶和锦纶的产量分别占整个化学纤维的 60% ~ 65% 和 20% ~ 30%,为最主要的两大品种。化学纤维按纤维长度可分为长丝和短纤两大类。长丝是指连续不断的很长纤维,主要用做机织物和针织物,而短纤是被切断成一定长度(如 25 ~ 150 mm)的纤维,主要用于棉混纺。化学纤维广泛用于替代棉、麻、蚕丝、羊毛等天然纤维制造各种织物,目前其产量已超过天然纤维。化学纤维除用于民用领域外,还广泛用于交通运输、建筑、道路、化工等工业领域,如作为绳索、轮胎帘子线、土工布、过滤材料等,而芳纶纤维等耐热高性能纤维还在航空航天、军事等领域获得应用,如各种零部件、防弹衣、防弹装甲等。

橡胶是一类在较宽的温度范围内,通常在 -50 ~ 150℃ 之间,表现出优异弹性的高分子材料的总称。按来源分,橡胶可分为天然橡胶和合成橡胶两大类,天然橡胶是指橡树上流出的胶乳经凝聚、干燥等工序制成的橡胶,合成橡胶是化学合成的高分子化合物。按用途和性能分,合成橡胶可分为通用橡胶和特种橡胶。通用橡胶性能与天然橡胶相近,广泛用做轮胎、胶鞋、胶辊、胶管、输送带、减震部件等。特种橡胶主要用于制作特殊条件下使用的橡胶制品,如油槽、输油管、耐高温电线电缆、化工设备、飞机和宇航用密封件。

此外,聚合物粘合剂和涂料也广泛用于国民经济的各个工业部门。聚合物粘合剂是固态材料粘接连接工艺最常用的材料,而聚合物涂料在建筑、公路、化工防腐、舰船防腐、飞机隐身等方面应用很广泛。

三、陶瓷材料

陶瓷材料有时也称为无机非金属材料,种类繁多,应用很广。陶瓷材料可分为传统陶瓷和特种陶瓷两大类(见表 0.3)。传统陶瓷也称为普通陶瓷,泛指硅酸盐材料,它是用天然粘土、石英、长石为原料经成形和烧结而制成的陶瓷。特种陶瓷是指化学合成陶瓷,它是采用经人工