Mc Graw Hill Education

http://www.mheducation.com

Foundations of Materials Science and Engineering

(4th ed)

[美] William F.Smith
Javad Hashemi 著

材料概论

CAILIAO GAILUN

(英文改编版·原书第4版)

马季玫 顾晓华 刘剑虹 王超会 改编

中国建材工业出版社

Mc Graw Hill

Foundations of Materials Science and Engineering (4th ed)

[美] William F. Smith
Javad Hashemi 著

材料概论

（英文改编版·原书第4版）

马季玫 顾晓华 刘剑虹 王超会 改编

中国建材工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

材料概论 = Foundations of Materials Science and Engineering：英文/（美）史密斯（Smith，W. F.），（美）哈希米（Hashemi，J.）著；马季玫等改编. —北京：中国建材工业出版社，2007.9

ISBN 978-7-80227-342-9

Ⅰ. 材… Ⅱ. ①史…②哈…③马… Ⅲ. 材料科学—教材—英文 Ⅳ. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 135641 号

William F. Smith：Foundations of Materials Science and Engineering，4th ed
ISBN：0-07-310763-8
Copyright © 2006，2004，1993 by the McGraw-Hill Companies，Inc.

Original language published by the McGraw-Hill Companies，Inc. All rights reserved. Portions of this text have been taken from Principles of Materials Science and Engineering. Copyright © 1990，1986 by McGraw-Hill，Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means，or stored in a database or retrieval system，without the prior written consent of the publisher，including，but not limited to，in any network or other electronic storage or transmission，or broadcast for distance learning.
Authorized English language reprint edition jointly published by McGraw-Hill Education（Asia）Co. and China Building Materials Industry Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only，excluding Hong Kong，Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书英文影印改编版由中国建材工业出版社和美国麦格劳－希尔教育出版（亚洲）公司合作出版。此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾）销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律制裁。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签，无标签者不得销售。
著作权合同登记图字：01-2007-4417 号

材料概论

马季玫　顾晓华　刘剑虹　王超会　改编

出版发行：中国建材工业出版社
地　　址：北京市西城区车公庄大街 6 号
邮　　编：100044
经　　销：全国各地新华书店
印　　刷：北京鑫正大印刷有限公司
开　　本：787mm × 1092mm　1/16
印　　张：12.25　　插页：1
字　　数：267 千字
版　　次：2007 年 9 月第 1 版
印　　次：2007 年 9 月第 1 次
书　　号：ISBN 978-7-80227-342-9
定　　价：20.00 元

本社网址：www.jccbs.com.cn
本书如出现印装质量问题，由我社发行部负责调换。联系电话：（010）88386906

内 容 简 介

本书是 W. F. Smith 所著英文原版书《Foundations of Materials Science and Engineering》第四版的影印改编版，是用英文撰写的材料科学与工程专业的入门教科书。全书广泛触及现代材料科学的前沿课题，以材料为中心，从工程实际出发，主要介绍了材料科学与工程的基本概念和范畴、重要工程和合金的结构、性能及应用、以塑料和人造橡胶为代表的高分子材料、陶瓷材料的结构和性能以及复合材料的结构、性能和应用。

本书可以作为材料科学与工程专业入门基础课程的双语教学用书，也可以作为材料科学与工程专业的专业外语参考教材，还可以作为材料工程师和科技人员的工具书使用。

影印改编版前言

本书是 W. F. Smith 所著英文原版书《Foundations of Materials Science and Engineering》的改编版，是用英文撰写的材料科学与工程专业的入门教科书。材料科学阐述材料的内部结构、性能和材料加工的基本理论；材料工程讲述制造材料相关产品的工艺过程。材料科学与工程是基础学科和工程学科之间的桥梁。

本书概括地介绍了材料科学与工程领域的基本知识，目的是向读者介绍材料的结构、性能、制备、加工及应用。材料可概括地分为三个主要的类型，即金属材料、无机非金属材料和高分子材料；在现代工程技术中还有另外两种重要的材料：复合材料和纳米材料。所有这些材料都会在本书中有所介绍，使读者对材料科学与工程学科有一个概括的了解，对各种材料有一个基本的认识，为深入学习材料与工程专业方向的深层知识奠定良好的基础。

刘剑虹老师作为本书的主要改编者设计了本书的结构和内容基调，编写了内容概述，并负责全书的统编。

本书第一章由顾晓华改编。通过阐述材料科学与工程的基本概念和范畴，让读者了解材料的发展历史，掌握材料科学与工程学科的分类。本章还讨论了材料的成分、结构、性能和应用。材料的成分与组织结构的关系是材料科学的根本问题，掌握材料的结构影响性能的基本原理，了解材料的主要性能指标是进入材料科学领域的第一步。

本书第二章和第四章由马季玫改编。第二章介绍含铁的和无铁的工程合金，重点是铁碳合金的成分与组织结构的关系，主要目的是让读者掌握铁碳相图，钢的热处理原理，了解钢的热处理工艺和无铁合金的主要类型。刘岩参加了第二章的改编工作。

第三章由顾晓华改编，刘尚编写了第四章第 5 节至第 8 节。第三章主要介绍高分子的基本概念和合成方法，高分子材料的发展历程和趋势。重点介绍塑料、橡胶的常用品种，让读者了解高分子的基本概念，理解高分子材料的结构、性能以及结构与性能间的关系。该章还介绍了高分子材料的成型工艺和设备，热固性塑料的固化、橡胶的硫化，合成纤维和黏合剂，目的是让读者掌握高分子材料常用品种的结构、性能特点，了解高分子材料的成型工艺和设备，理解热固性塑料固化、橡胶硫化的化学过程，学会选用常用高分子材料的品种。

本书第四章主要介绍陶瓷和玻璃。陶瓷是由金属和非金属元素通过烧结连接到一起的材料。玻璃是无机陶瓷熔融后快速冷却形成的一种无定形的非晶固体。这些无机非金属材料在工程中具有十分重要的地位。本章的目的主要是让读者理解无机非金属材料的组成特点，掌握不同无机非金属材料的加工方法，了解不同无机非金属材料的

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

应用领域。

本书第五章由王超会改编。第五章介绍复合材料基础知识和复合材料的成型工艺，目的是让读者掌握复合材料的概念和纤维增强复合材料的常用品种，让读者理解纤维增强复合材料中纤维的增强机理，使读者能够了解复合材料的成型工艺和设备，学会选用纤维增强复合材料。

郭丽红、张红霞参加了本书部分改编和校对工作。

本书以材料为中心，从培养材料工程师的角度着眼，由基础知识、材料制备方法、各种材料和材料性能四个交叉部分组成。这种组合方式结构紧凑，内容精练，完整实用。本书从工程实际出发，引导读者学会科学的研究方法和分析思路，使之提高正确选材的能力，为研发新材料打下良好的基础。全书广泛触及现代材料科学的前沿课题，书中多处介绍了功能材料的特性和使用，对智能材料、纳米材料、超级合金及生物医学材料的介绍，使读者能够开阔眼界，全面了解材料科学与工程的概貌。

本书可以作为材料科学与工程专业入门基础课程的双语教学用书，也可以作为材料科学与工程专业的专业外语参考教材。采用该书作教材的教师可向 McGraw-Hill 公司北京代表处联系索取教学课件资料，传真：（010）62790292，电子邮件：instructorchina@ mcgraw-hill. com。本书对材料工程师和科技人员，也是一本有用的工具书。

齐齐哈尔大学

刘剑虹

2007 年 8 月

内容概述

材料科学与工程是一座桥梁，这座桥梁架设在基础科学（包括数学）与工程规律之间。材料科学主要是关注和探索材料方面的基础知识，而材料工程则主要考虑材料实际应用的知识。

材料的应用领域存在着竞争，这样，一种材料就会因为某些需要而被其他的材料取代。对于产品研制来说，原材料的利用率、加工制造的成本以及新材料和新工艺的发展，是决定材料选用理由的主要因素。

本书第一章介绍了材料科学与工程的基本概念和范畴。材料可概括地分为三个主要的类型，即金属材料、高分子材料和陶瓷材料；在现代工程技术中还有另外两种重要的材料：复合材料和电子材料。所有这些材料都会在本书中有所介绍。纳米材料作为一项新研究，已经在许多工业领域崭露头角，随着在微米尺度的精细材料和设备上的应用，也将导致另一种新材料类别的出现。

第二章讨论了重要的工程合金的结构、性能和应用，还介绍了特殊用途合金。工程合金可以分成两大类：含铁的和无铁的。含铁合金以铁作为其中主要的合金组成金属，而无铁合金以铁以外的其他金属作为主要成分。含铁合金经常被称为钢，到目前为止，钢仍然是最主要的金属合金，主要原因是其具有相对低廉的成本和机械性能好的优点。碳钢可以分为冷加工钢和退火钢。当钢中碳含量增加到0.3%时，这种钢就可以通过淬火和回火的方式热处理，生产成高强度钢，并且具有合理的韧性。镍、铬、钼等合金元素加入到普通碳钢中就可以生产出低合金钢。低合金钢将高的强度和好的韧性结合到了一起，可以广泛地应用在机械工业中，例如可以用来制造齿轮、轴、轮轴。

铝合金由于具有轻质、可加工性好、耐腐蚀以及相对低的成本等特点，成为最重要的无铁合金。

纯铜具有较高的导电性、耐腐蚀性、可加工性以及相对低的成本等特点。纯铜与锌合金化合后形成一系列的黄铜合金，他们比纯铜具有更高的强度，从而被广泛应用。

不锈钢是一种重要的含铁合金，因为它们在有氧的环境中具有较高的耐腐蚀性。要使不锈钢真正不生锈，必须其中包含至少12%的Cr元素。

铸铁是另一类工业上重要的含碳铁合金。它具有低廉的成本，较好的可铸性、耐磨性和韧性。当铸铁中的碳以层片状结构的石墨形态出现时，形成的灰口铸铁具有非常好的机械加工性能和振动阻尼的性能。

在第二章中还讨论其他的无铁合金，主要包括镁、钛和镍的合金。镁合金格外地轻，在航空航天领域有非常好的应用前景。钛合金价格比较昂贵，但是它是从其他合

金系统中难以得到的高强度和优秀的轻质性的最佳结合。镍合金具有较高的耐腐蚀性和耐氧化性，因此通常用在石油和化学工业中。镍和铬、钴合金化后形成了镍基超合金，可以应用在喷气飞机的燃气涡轮机和电厂的发电设备上。

第三章讨论了以塑料和人造橡胶为代表的高分子材料。塑料和人造橡胶是重要的工程材料，因为能够满足广泛的性能要求，相对容易成型并且具有相对低廉的价格。塑性材料可分成热塑性塑料和热固性塑料。热塑性塑料需要加热，然后形成需要的形状，在冷却后保持形成的形状。这样的材料可以二次加热并反复使用。热固性塑料通常通过加热加压的方法形成永久的形状，热固性塑料在加热加压的过程中发生了化学反应，将原子通过键连接在一起，形成了一个刚性固体。如果热固性的反应发生在室温下，固化就不需要加热和加压。热固性塑料在成型或凝固之后就不能够重新熔化了，如果加热到较高的温度，他们就会降解或分解。

生产塑料的化学药品主要来源于石油、天然气和煤炭。许多被称为单体的小分子通过聚合反应成为大分子聚合物，这样就形成了塑性材料。热塑性塑料是由许多具有长分子链的聚合物构成的，在高分子链之间的作用力是次级的永久偶极类型的。热固性塑料都是共价键连接的，并且在原子之间都是强共价键。

生产热塑性塑料的最常用的工艺方法有注射成型、挤压成型和吹塑成型；生产热固性塑料的最常用的工艺方法有压缩成型、传递成型和铸造成型。

热塑性塑料和热固性塑料有很多的种类。具有广泛用途的热塑性塑料有聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯和聚苯乙烯；工程塑料有聚酰胺（尼龙）、聚缩醛、聚碳酸酯、饱和聚酯、聚苯醚和聚砜；热固性塑料有酚醛塑料、不饱和聚酯、三聚氰胺和环氧类塑料。

人造橡胶或天然橡胶是高分子材料的一个大的分类，具有重要的工程价值。天然橡胶是从种植的橡胶树中获得。天然橡胶由于较高的塑性性能，现在仍然有很大的需求量（大约占全世界的橡胶供给量的30%）。合成橡胶占世界橡胶供给量的70%，其中丁苯橡胶是最常用的类型。其他的橡胶如腈和氯丁（二烯）橡胶经常应用到必须防油和防溶解的特殊性能要求的地方。

热塑性塑料具有玻璃化转变温度点，高于这个温度材料表现为有黏性或有弹性的固体，低于这个温度时材料表现为脆的类似于玻璃的固体。高于玻璃化转变温度，分子链之间相对滑动、键断裂，然后重新形成二次连接的键，造成了永久的变形。使用温度高于玻璃化转变温度的热塑性塑料，通过分子间键力来增加强度。增强分子间键力的方法主要是加入极性原子，比如氯在聚氯乙烯中的作用，或者使用氢键，比如在尼龙中氢键的作用。

第四章讨论了陶瓷材料的结构和性能。陶瓷材料是由金属和非金属元素主要通过离子键和共价键连接到一起的无机非金属材料。陶瓷材料的化学组成和结构变化相当多。陶瓷材料可以由单一化合物组成，例如纯氧化铝，也可以由许多复杂化合物相混合而成，例如电瓷是由黏土、硅土和长石组成的。

由于陶瓷材料有不同的键，所以导致材料的性能具有非常多的变化。通常大多数陶瓷的代表性特点是硬度高和脆性高，抗冲击性和韧性低。因此，大多数工程设计中

都要在高应力下尤其是受拉应力时，避免使用陶瓷材料。陶瓷材料几乎没有载流电子，具有很好的绝缘性和绝热性，因此很多的陶瓷材料都用作绝缘体和耐火材料。一些陶瓷材料在电荷作用下会高度极化，这样的陶瓷材料用作电容器的介电材料。一些陶瓷材料的永久极化就会产生压电效应，这些材料用作机电换能器。其他的陶瓷材料如Fe_3O_4是半导体，可以作为温度控制的电热调节器。

有些时候石墨也被认为是一种陶瓷材料，而石墨、钻石、巴基球和巴基管都是碳的同素异构体，本章对它们进行了介绍。这些同素异构体有着明显不同的性能，这与他们不同的原子结构和原子排列有直接的关系。巴基球和巴基管在现代纳米技术中有着越来越重要的作用。

陶瓷材料的处理工艺主要是将小的颗粒在干态、塑性态或是液态下通过不同的方法团聚成型。冷成型是陶瓷工业中的主要工艺，热成型工艺也有应用。压力成型、流铸成型和挤压成型都是常用的陶瓷成型方法。成型后陶瓷材料一般要进行烧结或玻璃化等热处理。烧结过程中，成型的工件内部的小颗粒在高温作用下通过固态扩散的方式相互连接到了一起。玻璃化过程中，未熔颗粒通过玻璃态中发生的反应结合成为一体。

玻璃是无机陶瓷熔融后快速冷却形成的一种无定形的非晶固体。大多数无机玻璃都是由离子键和共价键的二氧化硅（SiO_2）四面体的网状组织构成的。在其中加入Na_2O和CaO等氧化物可以改变这样的网状结构，得到具有更好的加工性能的玻璃；另一些添加物可以使玻璃产生更多的特性。玻璃具有透明、室温下硬度高、在多数环境下的稳定性高等特点，这使它在工程设计中越来越重要。陶瓷的一个重要的应用就是在零部件表面形成陶瓷涂层，使零部件可以减少腐蚀和磨损。玻璃、氧化物和碳化物都是有不同用途的涂层材料，它们的化学稳定性和生物适应性极其适合人体苛刻的条件，可以将它们应用在人造关节和其他整形外科手术中。纳米技术的发展有希望改善陶瓷材料的最大缺点——脆性。早期研究表明，纳米晶粒的陶瓷拥有好的韧性，这为更加复杂的陶瓷零件降低成本提供了可能。

第五章讨论了复合材料的结构、性能和应用。材料科学与工程领域中的复合材料是指由两种或两种以上的不同形态、不同化学成分、互不相容的微观或宏观组分组合到一起形成的材料体系。

一些纤维增强塑料复合材料由人造的玻璃纤维、碳纤维和芳香尼龙纤维作为增强体。在这三种纤维中，玻璃纤维成本最低，强度居中，而密度最高；碳纤维具有高强度、高模量、低密度的优点，但是价格比较昂贵，仅仅应用在要求强度－重量比高的领域；芳香尼龙纤维具有高强度、低密度的优点，刚性没有碳纤维好，而且具有比较高的价格，应用在要求强度－重量比高并且需要韧性比碳纤维高的领域。对于以玻璃纤维作为增强体的纤维增强塑料复合材料来说，基体最常用的是聚酯；而碳纤维作为增强体时，基体最常用的是环氧树脂。碳纤维增强环氧树脂复合材料在航空航天领域有着非常广泛的应用。玻璃纤维增强聚酯复合材料在建筑行业、运输行业、船舶工业和航空工业都有应用。

混凝土是陶瓷复合材料，是在水泥中加入集料颗粒（例如砂子和石砾）形成的材料。水泥一般选择普通硅酸盐水泥。混凝土作为一种建筑材料，具有许多优点，如合适的抗压强度、经济性、易于成型、耐久性、耐火性和外观的美感等等。用钢筋增强的方法可以提高混凝土本身较低的抗拉强度，如需要进一步提高混凝土的抗拉强度，可以通过预加应力的方法在需要提高抗拉强度的混凝土上引入残余压应力。

骨骼是人体中的天然复合材料。它是由有机物（骨胶原）和无机物（羟磷灰石）混合而成的。骨骼的宏观结构是由两种截然不同的表皮组织和网状组织构成的，有非常强的抗压性能，骨骼表现出了复合材料所具有的各向异性的特点。

齐齐哈尔大学
刘剑虹
2007 年 8 月

目　录

第一章　材料科学与工程概论 …… 1

学习目标 …… 1
1.1　材料与工程 …… 1
1.2　材料科学与工程 …… 4
1.3　材料的分类 …… 5
1.4　材料的比较 …… 10
1.5　材料科学与技术进展及发展趋势 …… 12
1.6　材料的设计与选择 …… 14
1.7　名词解释 …… 14

第二章　工程合金 …… 16

学习目标 …… 16
2.1　钢铁的生产过程 …… 17
2.2　铁－渗碳体体系 …… 19
2.3　碳素钢的热处理 …… 24
2.4　低合金钢 …… 30
2.5　铝合金 …… 32
2.6　铜合金 …… 44
2.7　不锈钢 …… 48
2.8　铸铁 …… 51
2.9　镁合金、钛合金和镍合金 …… 54
2.10　名词解释 …… 58

第三章　高分子材料 …… 60

学习目标 …… 60
3.1　概况 …… 61
3.2　聚合反应 …… 62
3.3　工业生产中的聚合反应方法 …… 69
3.4　某些热塑性塑料的结晶度和立体异构现象 …… 71

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

3.5 塑料的加工过程 …… 75
3.6 常用的热塑性塑料 …… 80
3.7 工程热塑性塑料 …… 90
3.8 热固性塑料(热固树脂) …… 94
3.9 高弹体(橡胶) …… 102
3.10 塑料材料的成型和强化 …… 106
3.11 名词解释 …… 110

第四章 陶瓷 …… 113

学习目标 …… 113
4.1 概况 …… 113
4.2 陶瓷晶体结构 …… 115
4.3 硅酸盐的结构 …… 124
4.4 陶瓷的加工过程 …… 128
4.5 传统陶瓷和工程陶瓷 …… 133
4.6 陶瓷的机械性能 …… 137
4.7 陶瓷的热学性能 …… 138
4.8 玻璃 …… 140
4.9 陶瓷涂层与表面工程 …… 148
4.10 陶瓷在生物医学上的应用 …… 149
4.11 名词解释 …… 152

第五章 复合材料 …… 154

学习目标 …… 154
5.1 概况 …… 155
5.2 增强塑料复合材料的纤维 …… 155
5.3 纤维增强塑料复合材料 …… 160
5.4 纤维增强塑料复合材料的明模浇注加工过程 …… 162
5.5 纤维增强塑料复合材料的闭模浇注加工过程 …… 165
5.6 混凝土 …… 167
5.7 三明治结构 …… 173
5.8 金属基体和陶瓷基体的复合材料 …… 174
5.9 骨:一种天然的复合材料 …… 177
5.10 名词解释 …… 179

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1 INTRODUCTION TO MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 1
LEARNING OBJECTIVES 1
1.1 MATERIALS AND ENGINEERING 1
1.2 MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 4
1.3 TYPES OF MATERIALS 5
1.4 COMPETITION AMONG MATERIALS 10
1.5 RECENT ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY AND FUTURE TRENDS 12
1.6 DESIGN AND SELECTION 14
1.7 DEFINITIONS 14

CHAPTER 2 ENGINEERING ALLOYS 16
LEARNING OBJECTIVES 16
2.1 PRODUCTION OF IRON AND STEEL 17
2.2 THE IRON-CARBON SYSTEM 19
2.3 HEAT TREATMENT OF PLAIN-CARBON STEELS 24
2.4 LOW-ALLOY STEELS 30
2.5 ALUMINUM ALLOYS 32
2.6 COPPER ALLOYS 44
2.7 STAINLESS STEELS 48
2.8 CAST IRONS 51
2.9 MAGNESIUM, TITANIUM, AND NICKEL ALLOYS 54
2.10 DEFINITIONS 58

CHAPTER 3 POLYMERIC MATERIALS 60
LEARNING OBJECTIVES 60
3.1 INTRODUCTION 61
3.2 POLYMERIZATION REACTIONS 62
3.3 INDUSTRIAL POLYMERIZATION METHODS 69
3.4 CRYSTALLINITY AND STEREOISOMERISM IN SOME THERMOPLASTICS 71
3.5 PROCESSING OF PLASTIC MATERIALS 75
3.6 GENERAL-PURPOSE THERMOPLASTICS 80
3.7 ENGINEERING THERMOPLASTICS 90
3.8 THERMOSETTING PLASTICS (THERMOSETS) 94
3.9 ELASTOMERS (RUBBERS) 102
3.10 DEFORMATION AND STRENGTHENING OF PLASTIC MATERIALS 106
3.11 DEFINITIONS 110

CHAPTER 4 CERAMICS 113
LEARNING OBJECTIVES 113
4.1 INTRODUCTION 113

4.2 SIMPLE CERAMIC CRYSTAL STRUCTURES 115
4.3 SILICATE STRUCTURES 124
4.4 PROCESSING OF CERAMICS 128
4.5 TRADITIONAL AND ENGINEERING CERAMICS 133
4.6 MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMICS 137
4.7 THERMAL PROPERTIES OF CERAMICS 138
4.8 GLASSES 140
4.9 CERAMIC COATINGS AND SURFACE ENGINEERING 148
4.10 CERAMICS IN BIOMEDICAL APPLICATIONS 149
4.11 DEFINITIONS 152

CHAPTER 5 COMPOSITE MATERIALS 154

LEARNING OBJECTIVES 154
5.1 INTRODUCTION 155
5.2 FIBERS FOR REINFORCED-PLASTIC COMPOSITE MATERIALS 155
5.3 FIBER-REINFORCED-PLASTIC COMPOSITE MATERIALS 160
5.4 OPEN-MOLD PROCESSES FOR FIBER-REINFORCED-PLASTIC COMPOSITE MATERIALS 162
5.5 CLOSED-MOLD PROCESSES FOR FIBER-REINFORCED-PLASTIC COMPOSITE MATERIALS 165
5.6 CONCRETE 167
5.7 SANDWICH STRUCTURES 173
5.8 METAL-MATRIX AND CERAMIC-MATRIX COMPOSITES 174
5.9 BONE: A NATURAL COMPOSITE MATERIAL 177
5.10 DEFINITIONS 179

CHAPTER 1 INTRODUCTION TO MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

Opportunity and *spirit*, two "robot geologists" designed and constructed by NASA, have finally provided irrefutable evidence that some regions of Mars were once covered with water. The rovers are masterpieces of engineering achievement whose design and construction required expert scientists, designers, and engineers in a variety of fields. One such field is the field of materials science. Consider the materials engineering and selection issues in constructing the rovers, delivering them to Mars using launch vehicles, landing the rovers safely on the Mars surface, controlling the movement and activities of the rovers, performing scientific experiments, collecting and storing data, and, finally, communicating the gathered data back to earth. All major classes of materials including metals, polymers, ceramics, composites, and electronic are used in the structure of the rovers. The Mars missions push the boundaries of knowledge and creativity in the field of materials science and engineering. Through the study of materials science and engineering, we can understand and appreciate the challenges and complexities involved in such missions.

NASA(Source: *www. nasa. gov*)

LEARNING OBJECTIVES

By the end of this chapter, students will be able to …

1. Describe the subject of materials science and engineering as a scientific discipline.
2. Cite the primary classification of solid materials.
3. Give distinctive features of each group of materials.
4. Cite one material from each group. Give some applications of different types of materials.
5. Evaluate how much you know, and how much you do not know about materials.
6. Establish the importance of materials science and engineering in selection of materials for various applications.

1.1 MATERIALS AND ENGINEERING

Humankind, materials, and engineering have evolved over the passage of time and are continuing to do so. All of us live in a world of dynamic change, and materials are no exception. The advancement of civilization has historically depended on the improvement of materials to work with. Prehistoric humans were restricted to naturally accessible materials such as stone, wood, bones, and fur. Over time, they moved from the materials Stone Age into the newer Copper

(Bronze) and Iron Ages. Note that this advance did not take place uniformly everywhere—we shall see that this is true in nature even down to the microscopic scale. Even today we are restricted to the materials we can obtain from earth's crust and atmosphere (Table 1.1). According to Webster's dictionary, materials may be defined as substances of which something is composed or made. Although this definition is broad, from an engineering application point of view, it covers almost all relevant situations.

Table 1.1 The most common elements in planet earth's crust and atmosphere by weight percentage and volume

Element	Weight percentage of the earth's crust
Oxygen (O)	46.60
Silicon (Si)	27.72
Aluminum (Al)	8.13
Iron (Fe)	5.00
Calcium (Ca)	3.63
Sodium (Na)	2.83
Potassium (K)	2.70
Magnesium (Mg)	2.09
Total	98.70
Gas	**Percent of dry air by volume**
Nitrogen (N_2)	78.08
Oxygen (O_2)	20.95
Argon (Ar)	0.93
Carbon dioxide (CO_2)	0.03

The production and processing of materials into finished goods constitutes a large part of our present economy. Engineers design most manufactured products and the processing systems required for their production. Since products require materials, engineers should be knowledgeable about the internal structure and properties of materials so that they can choose the most suitable ones for each application and develop the best processing methods.

Research and development engineers create new materials or modify the properties of existing ones. Design engineers use existing, modified, or new materials to design and create new products and systems. Sometimes design engineers have a problem in their design that requires a new material to be created by research scientists and engineers. For example, engineers designing a *high-speed civil transport* (HSCT) (Fig. 1.1) will have to develop new high-temperature materials that will withstand temperatures as high as 1800℃ (3250℉) so that airspeeds as high as Mach 12 to 25 can be attained (Mach 1 equals the speed of sound in air). Research is currently underway to develop new ceramic-matrix composites, refractory intermetallic compounds, and single-crystal superalloys for this and other similar applications.

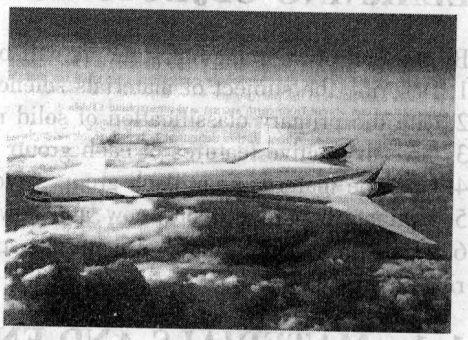

Figure 1.1
High-speed civil transport image shows the Hyper-X at Mach 7 with the engines operating. Rings indicate surface flow speeds. (© *The Boeing Company.*)

One area that demands the most from materials scientists and engineers is space exploration. The design and construction of the *International Space Station* (ISS) and *Mars Exploration Rover* (MER) missions are examples of space research and exploration activities that require the absolute best from our materials scientists and engineers. The construction of ISS, a large research laboratory moving at a speed of 27,000 km/h through space, required selection of materials that would function in an environment far different than ours on earth (Fig. 1.2). The materials must be lightweight to minimize payload weight during liftoff. The outer shell must protect against the impact of tiny meteoroids and man-made debris. The internal air pressure of roughly 15 psi is constantly stressing the modules. Additionally, the modules must withstand the massive stresses at launch. Materials selection for MERs is also a challenge, especially considering that they must survive an environment in which night temperatures could be as low as −96℃. These and other constraints push the limits of material selection in the design of complex systems.

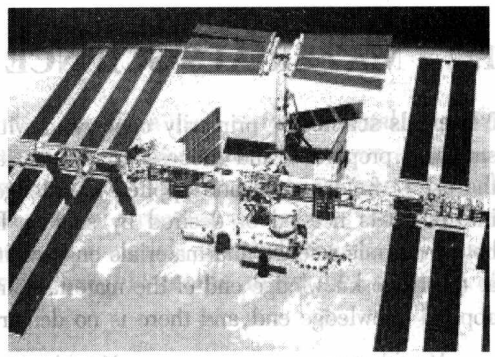

Figure 1.2
The International Space Station (© *AFP/Getty Images*)

We must remember that materials usage and engineering designs are constantly changing. This change continues to accelerate. No one can predict the long-term future advances in material design and usage. In 1943 the prediction was made that successful people in the United States would own their own autogyros (auto-airplanes). How wrong that prediction was! At the same time, the transistor, the integrated circuit, and television (color and high definition included) were neglected. Thirty years ago, many people would not have believed that some day computers would become a common household item similar to a telephone or a refrigerator. And today, we still find it hard to believe that some day space travel will be commercialized and we may even colonize Mars. Nevertheless, science and engineering push and transform our most unachievable dreams to reality.

The search for new materials goes on continuously. For example, mechanical engineers search for higher-temperature materials so that jet engines can operate more efficiently. Electrical engineers search for new materials so that electronic devices can operate faster and at higher temperatures. Aerospace engineers search for materials with higher strength-to-weight ratios for aerospace vehicles. Chemical and materials engineers look for more highly corrosion-resistant materials. Various industries look for smart materials and devices and microelectromechanical systems (MEMs) to be used as sensors and actuators in their respective applications. More recently, the field of nanomaterials has attracted a great deal of attention from scientists and engineers all over the world. Novel structural, chemical, and mechanical properties of nanomaterials have opened new and exciting possibilities in the application of these materials to a variety of engineering and medical problems. These are only a few examples of the search by engineers and scientists for new and improved materials and processes for a multitude of applications. In many cases what was impossible yesterday is a reality today!

Engineers in all disciplines should have some basic and applied knowledge of engineering materials so that they will be able to do their work more effectively when using them. The purpose of this book is to serve as an introduction to the internal structure, properties, processing, and applications of engineering materials. Because of the enormous amount of information available about engineering materials and due to the limitations of this book, the presentation has had to be selective.

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com