



“十二五”国家重点图书出版规划项目  
材料科学研究与工程技术系列(应用型院校用书)

# 材料科学基础

The Fundamentals of Materials Science

主编 莫淑华  
李学伟

主审 于彦东

院士专家著书 体现先进性 前瞻性 反映材料领域的研究成果

学科融合贯通 注重交叉性 学术性 立足材料科学的人才培养

内容丰富翔实 追求研究性 实用性 促进材料工程的创新发展

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目  
材料科学研究与工程技术系列(应用型院校用书)

# 材料科学基础

主 编 莫淑华 李学伟  
副主编 王丽雪 张旭昀  
主 审 于彦东

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 简 介

材料科学是 20 世纪 60 年代初期创立的研究材料共性规律的一门科学。本书以教育部“卓越工程师教育培养计划”为指导,以应用型本科教育的特点和教育教学要求为目标,从材料的结构出发,揭示材料性能与材料结构和制备工艺之间的关系,全面阐述各种材料的共性基础知识及个性特征。本书内容划分为四个模块。模块一:材料的微观结构,主要介绍固体材料的原子结构与结合键、材料的晶体结构、常见晶体缺陷等不同尺度下材料的微观结构;模块二:材料制备理论,主要介绍材料中原子的扩散定律、材料的凝固理论等材料制备过程中原子扩散规律及凝固的理论;模块三:材料制备工艺基础,主要介绍相平衡与相图、固态相变等材料制备过程中组织与成分、温度及性能之间的关系;模块四:材料的性能,主要介绍材料的变形与断裂、固体材料的电子结构与物理性能等材料使用过程中的力学性能和物理性能。

本书可作为高等学校材料类、机械类、近机类及相关学科的本科生教材,也可作为研究生和专业技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料科学基础/莫淑华,李学伟主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5603-3243-7

I. ①材… II. ①莫…②李… III. ①材料科学  
IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 038393 号

策划编辑 田新华

责任编辑 范业婷 刘 瑶

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20.25 字数 462 千字

版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3243-7

定 价 39.80 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

本书为“十二五”国家重点图书出版规划项目中的教材,是国家级高等学校规划教材。

“材料科学基础”是材料科学与工程类专业本科生的一门重要的专业基础课。目前,国内出版的这类教材版本虽然很多,但由于各个高校的专业背景和教改进程的差异,所以编入书中的内容侧重点各不相同。本书以教育部“卓越工程师教育培养计划”为指导,根据应用型本科教育的特点、专业培养目标和教育教学要求确定编写内容,力求将工程中常用的金属材料、无机非金属材料、高分子材料紧密结合,从材料的组织结构出发,揭示材料性能与材料结构和制备工艺之间的关系,全面阐述各种材料的共性基础知识及个性特征,为工程应用及后续专业课奠定坚实的基础。

本书内容划分为四个模块。模块一:材料的微观结构,主要介绍不同尺度下材料的微观结构。内容包括固体材料的原子结构与结合键、材料的晶体结构、常见晶体缺陷等;模块二:材料制备理论,主要介绍材料制备过程中原子扩散规律及凝固的理论。内容包括材料中原子的扩散定律、材料的凝固理论等;模块三:材料制备工艺基础,主要介绍材料制备过程中组织与成分、温度及性能之间的关系。内容包括相平衡与相图、固态相变等;模块四:材料的性能,主要介绍材料使用过程中的力学性能和物理性能。内容包括材料的变形与断裂、固体材料的电子结构与物理性能等。

本书特点,通过模块方式,使学习内容形成理论为基础、工程为目的梯次结构;增加了例题解析,便于自学;使用国家标准化名称与符号,使教材整体结构规范;语言简练,力求通俗易懂;注重工程应用,体现科学性、先进性和实用性。

参加本书编写的教师有:黑龙江工程学院莫淑华(前言、绪论)、王丽雪(第2、7章)、王威(第10章)、杨慧敏(第6章),黑龙江科技学院李学伟(第1、8章),东北石油大学张旭昀(第3章)、李森(第4章),哈尔滨理工大学李彩霞(第9章),佳木斯大学李洪波(第5章)。本书由莫淑华、李学伟担任主编;王丽雪、张旭昀担任副主编;哈尔滨理工大学的于延东教授担任主审。

本书可作为高等学校材料类、机械类、近机类及相关学科的本科生教材,也可作为研究生和专业技术人员的参考用书。

编者在编写过程中,参阅了部分国内外相关教材、科技著作及论文,在此向文献作者表示由衷的谢意!

由于编者水平有限,书中内容难免有不妥之处,恳请读者提出批评和改进意见。

编 者  
2012年2月

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 绪论                   | 1  |
| 0.1 材料与人类社会进步        | 1  |
| 0.1.1 古代材料发展与人类社会进步  | 1  |
| 0.1.2 近代材料发展与人类社会进步  | 2  |
| 0.2 材料科学的形成与地位       | 3  |
| 0.2.1 材料科学的形成        | 3  |
| 0.2.2 材料科学的地位        | 4  |
| 0.3 材料的分类与应用         | 5  |
| 0.3.1 材料分类           | 5  |
| 0.3.2 材料应用概况         | 6  |
| 0.4 材料科学与工程的关系及作用    | 8  |
| 0.5 课程内容与学习要求        | 9  |
| 第1章 固体材料的原子结构与结合键    | 11 |
| 1.1 原子结构与材料性能        | 11 |
| 1.1.1 原子结构           | 12 |
| 1.1.2 元素周期表及性能的周期性变化 | 14 |
| 1.2 原子结合键与材料性能       | 18 |
| 1.2.1 原子结合键          | 19 |
| 1.2.2 结合键的本质及原子间距    | 22 |
| 1.2.3 结合键对材料性能的影响    | 23 |
| 1.3 原子排列方式与材料性能      | 24 |
| 1.3.1 原子排列的方式        | 25 |
| 1.3.2 原子排列的研究方法      | 27 |
| 1.4 晶体材料的组织与材料性能     | 29 |
| 1.4.1 组织的显示与观察       | 29 |
| 1.4.2 单相组织对材料性能的影响   | 30 |
| 1.4.3 多相组织对材料性能的影响   | 31 |
| 1.5 材料的稳态结构与亚稳态结构    | 31 |
| 习 题                  | 34 |
| 第2章 晶体学基础            | 35 |
| 2.1 晶体结构和空间点阵        | 35 |

|            |                |           |
|------------|----------------|-----------|
| 2.2        | 布拉格点阵          | 36        |
| 2.3        | 晶向指数和晶面指数      | 38        |
| 2.3.1      | 晶向指数           | 39        |
| 2.3.2      | 晶面指数           | 39        |
| 2.3.3      | 六方晶系的晶向指数和晶面指数 | 42        |
| 2.4        | 晶面间距和晶带定律      | 43        |
| 2.4.1      | 晶面间距           | 43        |
| 2.4.2      | 晶带定律           | 44        |
|            | 习 题            | 44        |
| <b>第3章</b> | <b>材料的晶体结构</b> | <b>46</b> |
| 3.1        | 金属的晶体结构        | 46        |
| 3.1.1      | 纯金属的晶体结构       | 46        |
| 3.1.2      | 晶体结构中的原子半径     | 53        |
| 3.2        | 合金的相结构         | 55        |
| 3.2.1      | 合金中的相          | 56        |
| 3.2.2      | 固溶体            | 57        |
| 3.2.3      | 中间相——金属间化合物    | 61        |
| 3.3        | 离子晶体的结构        | 67        |
| 3.4        | 共价晶体的结构        | 71        |
| 3.5        | 高分子材料的结构       | 72        |
| 3.5.1      | 高分子结构的基本概念     | 72        |
| 3.5.2      | 高分子材料的结构       | 72        |
|            | 习 题            | 76        |
| <b>第4章</b> | <b>晶体缺陷</b>    | <b>79</b> |
| 4.1        | 点缺陷            | 79        |
| 4.2        | 位错             | 81        |
| 4.2.1      | 位错的类型与密度       | 82        |
| 4.2.2      | 柏氏矢量           | 84        |
| 4.2.3      | 位错的运动          | 87        |
| 4.2.4      | 位错的能量及相互作用     | 91        |
| 4.2.5      | 位错的合成与分解       | 97        |
| 4.2.6      | 位错的观察          | 98        |
| 4.2.7      | 实际金属中的位错       | 100       |
| 4.3        | 界面及表面          | 106       |
| 4.3.1      | 晶界与亚晶界         | 106       |
| 4.3.2      | 外表面            | 110       |
|            | 习 题            | 111       |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第5章 材料中原子的扩散</b> ..... | 113 |
| 5.1 扩散定律 .....            | 113 |
| 5.1.1 扩散第一定律 .....        | 113 |
| 5.1.2 扩散第二定律 .....        | 113 |
| 5.1.3 扩散方程在生产中的应用举例 ..... | 114 |
| 5.2 扩散的微观机制 .....         | 116 |
| 5.2.1 扩散机制 .....          | 116 |
| 5.2.2 原子跳跃和扩散系数 .....     | 118 |
| 5.2.3 扩散激活能 .....         | 120 |
| 5.2.4 扩散驱动力 .....         | 120 |
| 5.3 影响扩散的因素 .....         | 122 |
| 5.4 反应扩散 .....            | 124 |
| 5.4.1 反应扩散的过程及特点 .....    | 124 |
| 5.4.2 反应扩散的实例 .....       | 125 |
| 习 题.....                  | 126 |
| <b>第6章 材料的凝固</b> .....    | 128 |
| 6.1 材料凝固时晶核的形成 .....      | 128 |
| 6.1.1 液态结构 .....          | 128 |
| 6.1.2 均匀形核 .....          | 129 |
| 6.1.3 非均匀形核 .....         | 131 |
| 6.1.4 形核率 .....           | 132 |
| 6.2 材料凝固时晶体的长大 .....      | 135 |
| 6.2.1 生长条件 .....          | 135 |
| 6.2.2 宏观长大方式 .....        | 136 |
| 6.2.3 微观长大方式 .....        | 137 |
| 6.3 金属材料的凝固 .....         | 141 |
| 6.3.1 凝固过程 .....          | 142 |
| 6.3.2 凝固组织 .....          | 152 |
| 6.4 高分子材料的凝固 .....        | 156 |
| 6.4.1 高分子材料的熔体结构 .....    | 157 |
| 6.4.2 高分子材料的凝固过程 .....    | 161 |
| 习 题.....                  | 163 |
| <b>第7章 相平衡与相图</b> .....   | 164 |
| 7.1 相平衡与相律 .....          | 164 |
| 7.1.1 相平衡 .....           | 164 |
| 7.1.2 自由度 .....           | 164 |
| 7.1.3 相律 .....            | 165 |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 7.2   | 相图建立与杠杆定律 .....    | 165 |
| 7.2.1 | 相图的表示方法 .....      | 165 |
| 7.2.2 | 相图的建立 .....        | 168 |
| 7.2.3 | 杠杆定律和重心法则 .....    | 169 |
| 7.3   | 一元相图 .....         | 171 |
| 7.3.1 | 纯铁的相图 .....        | 171 |
| 7.3.2 | 水的相图 .....         | 172 |
| 7.4   | 二元相图 .....         | 172 |
| 7.4.1 | 匀晶相图及其合金的凝固 .....  | 172 |
| 7.4.2 | 共晶相图及其合金的结晶 .....  | 174 |
| 7.4.3 | 包晶相图及其合金的结晶 .....  | 179 |
| 7.4.4 | 其他类型的二元相图 .....    | 180 |
| 7.4.5 | 相图与性能的关系 .....     | 183 |
| 7.4.6 | 二元合金相图的应用举例 .....  | 185 |
| 7.5   | 三元相图 .....         | 190 |
| 7.5.1 | 三元匀晶相图 .....       | 191 |
| 7.5.2 | 三相平衡的三元系合金相图 ..... | 193 |
| 7.5.3 | 四相平衡的三元合金相图 .....  | 196 |
| 7.5.4 | 三元系合金相图的应用举例 ..... | 201 |
| 习 题   | .....              | 202 |
| 第8章   | 固态相变 .....         | 205 |
| 8.1   | 固态相变的分类与特征 .....   | 205 |
| 8.1.1 | 固态相变的分类 .....      | 206 |
| 8.1.2 | 固态相变的特征 .....      | 208 |
| 8.2   | 固态相变的形核与生长 .....   | 210 |
| 8.2.1 | 形核 .....           | 211 |
| 8.2.2 | 生长 .....           | 214 |
| 8.3   | 扩散型相变 .....        | 217 |
| 8.3.1 | 脱溶转变 .....         | 218 |
| 8.3.2 | 调幅分解 .....         | 220 |
| 8.4   | 无扩散型相变 .....       | 223 |
| 8.4.1 | 马氏体转变的特征 .....     | 223 |
| 8.4.2 | 马氏体的结构、形态与性能 ..... | 225 |
| 习 题   | .....              | 227 |
| 第9章   | 材料的变形与断裂 .....     | 229 |
| 9.1   | 金属材料的变形 .....      | 229 |
| 9.1.1 | 金属材料的弹性变形 .....    | 229 |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 9.1.2         | 金属材料的塑性变形 .....             | 230        |
| 9.1.3         | 变形后的组织与性能 .....             | 242        |
| 9.2           | 冷塑变形金属的回复与再结晶 .....         | 244        |
| 9.2.1         | 冷变形金属的回复 .....              | 247        |
| 9.2.2         | 冷变形金属的再结晶 .....             | 248        |
| 9.3           | 金属材料的热变形 .....              | 252        |
| 9.3.1         | 热变形 .....                   | 252        |
| 9.3.2         | 蠕变 .....                    | 252        |
| 9.3.3         | 超塑性 .....                   | 257        |
| 9.4           | 非金属材料的变形 .....              | 257        |
| 9.4.1         | 陶瓷材料的变形 .....               | 258        |
| 9.4.2         | 高分子材料的变形 .....              | 259        |
| 9.4.3         | 复合材料的变形 .....               | 260        |
| 9.5           | 材料的断裂 .....                 | 261        |
| 9.5.1         | 材料断裂的类型 .....               | 262        |
| 9.5.2         | 理论断裂强度 .....                | 263        |
| 9.5.3         | 实际断裂强度 .....                | 264        |
| 9.5.4         | 影响断裂的因素 .....               | 265        |
| 习 题           | .....                       | 265        |
| <b>第 10 章</b> | <b>固体材料的电子结构与物理性能 .....</b> | <b>268</b> |
| 10.1          | 固体的能带理论 .....               | 268        |
| 10.1.1        | 能带的形成 .....                 | 268        |
| 10.1.2        | 能带结构与导电性 .....              | 269        |
| 10.1.3        | 费米能 .....                   | 270        |
| 10.2          | 半导体 .....                   | 272        |
| 10.2.1        | 本征半导体 .....                 | 272        |
| 10.2.2        | 杂质半导体 .....                 | 274        |
| 10.2.3        | PN 结的形成 .....               | 275        |
| 10.3          | 材料的磁性 .....                 | 278        |
| 10.3.1        | 原子的磁矩 .....                 | 278        |
| 10.3.2        | 磁性的分类 .....                 | 280        |
| 10.3.3        | 磁畴与磁化曲线 .....               | 283        |
| 10.4          | 材料的光学性能 .....               | 286        |
| 10.4.1        | 光学的吸收与传播 .....              | 287        |
| 10.4.2        | 材料的发光性能 .....               | 290        |
| 10.5          | 材料的热学性能 .....               | 292        |
| 10.5.1        | 晶格的热振动 .....                | 293        |
| 10.5.2        | 材料的热容 .....                 | 294        |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 10.5.3 材料的热膨胀·····   | 295 |
| 10.5.4 材料的导热性能·····  | 296 |
| 10.6 功能材料简介·····     | 297 |
| 10.6.1 光学材料·····     | 298 |
| 10.6.2 磁性材料·····     | 299 |
| 习 题·····             | 302 |
| 附录·····              | 303 |
| 附表1 元素的原子及离子半径 ····· | 303 |
| 附表2 元素的物理和化学数据 ····· | 306 |
| 参考文献·····            | 311 |

# 绪 论

## 0.1 材料与人类社会进步

材料是人类生存和生活不可或缺的部分。自从人类出现,就开始使用材料和制造材料,材料的发展史与人类史一样悠久。材料是人类社会发展的物质基础和先导,是直接推动社会发展的动力。材料的发展及其应用是人类社会文明和进步的重要里程碑。人类文明的发展史,就是一部如何更好地利用材料和创造材料的历史。没有材料科学的发展,就不会有人类社会的进步和经济的繁荣。

### 0.1.1 古代材料发展与人类社会进步

从考古学的角度,人类的文明史被划分为四个时代:旧石器时代、新石器时代(陶器时代)、青铜器时代和铁器时代。

(1)旧石器时代(约250万年前)。旧石器时代是人类以石头作为工具使用的时代。人类的祖先为了生存、抵御猛兽袭击和猎取食物,逐渐学会了使用天然材料,如石块、木棒等。为了使这些天然材料,更加犀利,人类开始打制石器,制作适用的工具,如石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石球等。这种用打击方法制造的石器称为旧石器,这是人类使用的第一种原始材料。这一时期在历史上最长,大约经历了200万年的时间。后期随着钻孔技术的出现,发现了摩擦生火的方法,人类从保存和使用天然火到学会造火用了100多万年。火的利用与石器的制造对材料的发展及人类生活产生了重大影响。

(2)新石器时代(始于1万年前)。其主要标志是大量磨光石器及陶器的出现。人类掌握了对石料的直接加工方法,如锤击、碰钻、砸等直接打制法;制造了标准化的工具,如砍砸器、刮削器和尖状器等几十类;利用野生葛、苧麻、蚕丝等作为纺织原料,制成了布和丝织品;用石头、土坯等做成了建筑材料;在编制或木制的容器外面涂上一层黏土,然后再拿到火中烧烤,制成了最原始的陶器,等等。这一时期大约持续了5000年。这是人类生产力发展的新标志。

(3)青铜器时代(始于公元前4000年)。其主要标志是铜锡合金的出现。青铜是人类有意识地将铜与锡或铅配合而熔铸成的合金,因为以铜为主,颜色呈青,故名青铜。图0.1为青铜器之冠——司母戊。在公元前2000年左右,中国进入青铜器时代。中国的青铜器时代以大量使用青铜礼器和生产工具、兵器为特征。这一时代,农业、手工业有了较快的发展,并出现了文字,国家政权建设逐步完善。从使用石器到铸造青铜器是人类

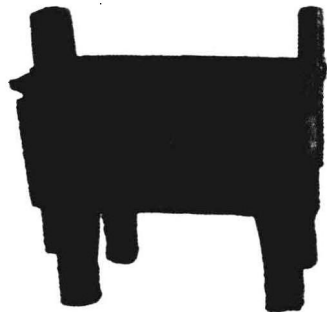


图0.1 青铜器之冠——司母戊

技术发展史上的飞跃,是社会变革和进步的巨大动力。

(4)铁器时代(始于公元前1400年)。其主要标志是使用铁来制造工具和武器。人类最早发现和使用的铁,是天空中落下来的陨铁。陨铁是铁和镍、钴等金属的混合物,含铁量较高。人们曾用这种天然铁制作刀刃和饰物。由于天降陨石数量很少,因此用陨铁制作的器具是很珍贵的,同时还带有神秘的色彩。铁器坚硬、韧性高、锋利,胜过石器和青铜器。公元前1200年左右,铁器逐渐取代了铜器,人类进入了铁器时代。中国最早的关于使用铁制工具的文字记载是《左传》中的晋国铸铁鼎。随着铁制农具、手工工具及各种兵器的广泛应用,人类社会开始从农业和手工业社会进入了工业社会。世界上一些民族从原始社会发展到奴隶社会乃至封建社会。

### 0.1.2 近代材料发展与人类社会进步

18世纪以前,人造材料主要是陶瓷、铜和铁。制造方法是利用火来对天然材料进行煅烧、冶炼和加工。例如,人类用天然的矿土烧制陶器、砖瓦和陶瓷;烧制玻璃、水泥;从各种天然矿石中冶炼铜、铁等金属材料。进入18世纪,蒸汽机的出现与应用,引发了促进人类社会快速发展的四次技术革命,由于每次技术革命均对材料提出新的要求,不仅促进了材料科学的快速发展,而且材料成为每次技术革命的物质基础。

第一次技术革命,也称工业革命或产业革命,始于18世纪后期,以蒸汽机的使用为标志。蒸汽机带动了纺织机、鼓风机、抽水机、磨粉机的发展,促进了纺织、印染、冶金、采矿业迅猛发展;在工业上,导致了机器制造业、钢铁工业、运输工业的蓬勃兴起(图0.2),初步形成了完整的工业技术的体系;平炉和转炉炼钢技术的出现,开始了机械化大规模的钢铁材料生产时代。工业革命是一场以技术革命为中心内容的社会变革,第一次凸显了科学技术的生产力功能。



图0.2 蒸汽火车

第二次技术革命,也称电力革命,始于19世纪后期,继工业革命之后以电的发明和广泛使用为标志。电力革命深刻改变了人类的生活,使产业结构发生了深刻变化。电力、电子、化学、汽车、航空等一大批技术密集型产业兴起,使生产更加依赖科学技术的进步,钢铁材料的冶炼设备进一步改善,与此同时,铜、铅、锌也得到大量应用,铝、镁、钛等有色金属材料相继问世并应用。至此,生产技术从机械化时代进入了电气化时代。

第三次技术革命,也称信息技术革命,始于20世纪中期,以微电子技术、电子计算机、原子能、航天空间技术为标志。这些技术的实现,主要源于半导体硅材料、高集成芯片的出现和应用;同时,人工合成高分子材料,如尼龙、聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯等塑料,以及维尼纶、合成橡胶、新型工程塑料、高分子合金和功能高分子材料等。信息技术革命把人类由工业社会推向信息和知识经济社会,其影响之深远,在人类历史上是空前的。

第四次技术革命,也称新能源科技革命。始于21世纪初期,以新能源技术为标志。通过对新能源技术的探索,改变对现有化石能源的过度依赖,通过风能、太阳能、电网改进等新能源技术的推广应用,进一步促进了新型无机非金属材料、高分子材料、新型金属材

料和复合材料等新材料的发展。

由此可见,材料科学的发展水平与科学技术的发展是相互依存的,新材料发展与应用水平直接决定着社会经济发展的水平。有人曾作过粗略计算,以每千克产品的出厂价格计算,把原材料比做1,那么小轿车为5,家电为30,飞机为200,计算机为1 000,集成电路芯片则为10 000。可见,产品中的技术含量越高,收益就越高。每一次技术革命,都是以新材料的出现为先导,同时,技术革命又推动了新材料的发展和普及应用。

基于材料对社会发展的作用,20世纪70年代,人们将材料、能源和信息并列为现代文明和生活的三大支柱。在这三大支柱中,材料又是能源和信息的基础。20世纪80年代,以高新技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。可见,材料对社会经济发展、国防建设和人民生活质量具有重要的支撑作用,并与各种高新技术密切相关。

## 0.2 材料科学的形成与地位

材料是宇宙间能为人类经济地用于制造有用物品的物质,如金属、塑料、陶瓷、棉麻等。也就是说材料是物质中的一部分,并不是所有物质都可以成为材料,如燃料和化工原料、工业化学品、食物和药品等,一般都不算做材料。只有当一种物质具有可供利用的性质而且能够制造成有用的物品时,才成为材料,材料是人类生产活动和日常生活所必需的物质基础。

科学是研究客观事物存在及其相关规律的学说。一般是研究“为什么”的学问,分为基础科学和技术科学两大类。基础科学包括数学、物理学、化学、天文学、地理学和生物学等;技术科学包括电工学、热能学、电子学、机械学、力学和材料学等。

材料科学(Materials Science)就是研究材料的组织、结构、性质、制备工艺和使用效能,以及它们之间相互关系的科学。材料科学是多学科交叉与结合的结晶,是一门与工程技术密不可分的应用科学。

### 0.2.1 材料科学的形成

材料科学是一门综合性很强的技术科学,它是在基础科学的牵引和社会需求的推动下形成和发展的。材料科学的形成是科学技术发展的结果,更是科学技术发展的需要。

(1)人类进入20世纪50年代,各种材料的制造和应用发展到了一个崭新阶段,如金属材料、高分子材料及陶瓷材料等制备技术已经成熟,其用途在不断扩大。冶金学、金属学、陶瓷学、高分子学等学科的发展对材料本身的研究更加重视。同时,固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展,以及现代分析测试技术和设备的发展,对物质结构和物性的深入研究,推动了对材料本质的了解。从而对材料的制备、结构和性能以及它们之间的相互关系的研究也越来越深入,这为材料科学的形成奠定了基础。

(2)在材料科学出现以前,金属材料、高分子材料与陶瓷材料科学都已自成体系,它们之间存在着颇多相似之处,可以相互借鉴,促进本学科的发展。例如马氏体相变本来是金属学家提出来的,而且广泛地用做钢热处理的理论基础。但在氧化锆陶瓷材料中也发

现了马氏体相变现象,并用做陶瓷增韧的一种有效手段。因此,学科间的相互借鉴,推动了材料科学的形成。

(3) 各类材料的研究设备与生产手段有很多相似之处,如用光学显微镜观察材料微观结构,用电子显微镜观察亚结构,用 X 射线衍射仪揭示晶体和分子结构,用激发光谱表征原子结构,用高能轰击观察核结构等,用万能试验机、硬度计、应变仪等设备测试材料的力学性能等。在材料生产中,许多加工设备也是通用的,如挤压机,对金属材料可以成型或强化,对高分子材料也可成型或强化,还有粉末冶金技术和现代陶瓷制造技术已无明显区别,等等。研究设备与生产装备的通用不但节约了资金,更重要的是相互得到启发和借鉴,加速了材料科学的发展。

(4) 由于材料的限制,阻碍了许多工程的发展。科学技术的发展,要求不同类型的材料之间能相互代替,充分发挥各类材料的优越性,以达到物尽其用的目的。长期以来,金属、高分子及无机非金属材料学科相互分割,自成体系。由于互不了解,不敢问津。因此,科学技术发展对材料提出新的要求,打破学科限制,发展材料科学,进一步促进材料科学的形成。

(5) 复合材料的发展,对材料性能提出了更高的要求。复合材料在多数情况下是不同类型材料的组合,通过材料科学对各种材料的规律性研究,将各种材料有机地合成一体,形成单一材料不可能具有的性能与功能。因此,发展材料科学,为复合材料的发展提供了必要的基础。

在上述背景下,材料科学诞生了。材料科学的提出是在 20 世纪 60 年代。1957 年,前苏联人造地球卫星发射成功之后,美国政府及科技界为之震惊,并认识到先进材料对于高技术发展的重要性,于是在一些大学相继成立了十几个材料科学研究中心。从此,材料科学这一名词开始被人们广泛地引用。

材料科学是科学技术中的重要学科,是影响经济社会发展的综合科学技术。材料科学的主要任务就是以现代物理学、化学等基础学科理论为基础,从电子、原子、分子间结合力、晶体及非晶体结构、显微组织、结构缺陷等视野研究材料的各种性能以及材料在制造和应用过程中的行为,提供材料结构的统一描述或模型,以及解释材料结构与性能之间的关系,明确材料结构-性能-应用之间的规律,提高现有材料的性能,发挥材料的潜力,并能够探索和发展新型材料。

材料科学的形成,对探索材料本质,促进材料的发展,推广使用材料具有重要意义。

## 0.2.2 材料科学的地位

### 1. 材料科学的工程地位

传统产业的技术进步离不开新材料技术的推动,新材料的不断涌现更是当今新技术革命的物质基础。材料科学在工程中犹如一座桥梁或纽带,将许多基础学科的研究成果与工程应用连接起来,既加深了人们对工程材料性能的理解,又导致了許多重大工程技术的形成和发展。

工程设计和制造人员经常与各种材料打交道,虽然能够参考技术手册,但要合理、经济地选择材料却是容易做到的事情,经常由于对材料的本质以及对其性能的影响因素

缺乏足够的认识,造成零件或构件的早期损坏或意外事故。而材料工作者在掌握材料的内在规律之后,将这些规律运用到设计与制造过程中,就可以加速发展高技术新材料,并使其产业化和商品化,在工程中发挥重要作用。因此,新型材料的研究开发将促进新兴材料产业的形成,推动新型机械、电子等产品的设计、制造和传统产品的更新换代,进而加速工程的发展。

## 2. 材料科学的经济社会地位

21 世纪,世界进入知识经济时代,新经济社会的发展是以高科技为基础的,在高科技的发展中,材料是各类高技术的基础,每一类高技术领域的发展与应用,其关键都是材料的突破,新材料是高科技发展的支柱、动力和先导,其研究水平和产业化规模已成为衡量一个国家和地区经济发展、科技进步和国防实力的重要标志之一。

因此,材料科学在高新技术产业发展以及社会经济发展中具有重要地位。在我国的“十二五”期间,国家将组织实施一批重大工程和重点项目,促进产、学、研、用一体化,推动材料产业升级换代。新材料产业将积极发展特种金属功能材料、高端金属结构材料、先进高分子材料、新型无机非金属材料、高性能复合材料和前沿新材料等,力争到 2015 年建立起具备一定自主创新能力、规模较大、产业配套齐全的新材料产业体系,突破一批国家建设急需、引领未来发展的关键材料和技术。

# 0.3 材料的分类与应用

## 0.3.1 材料分类

目前,世界各国注册的材料有几十万种,并在不断增加之中。其分类方法有多种。

(1)按物理化学属性分为:金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。

①金属材料是金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称。包括纯金属、合金、金属间化合物、特种金属材料和金属基复合材料等。金属材料的特点是坚硬、反光、有光泽、热与电的良导体。金属材料是重要的工程材料之一。

②有机高分子材料,简称高分子材料,又称高聚物,是由一种或几种结构单元多次( $10^3 \sim 10^5$ )重复连接起来的化合物。它们的组成元素不多,主要是 C, H, O, N 等,但是相对分子质量很大,一般在 10 000 以上,可高达几百万。高分子材料是衣、食、住、行和工、农业生产等各方面都离不开的材料,其中棉、毛、丝、塑料、橡胶等都是最常用的。高分子材料的特点是具有良好的延展性、塑性、电绝缘性、耐腐蚀性,密度小,强度低。目前在工程中的使用量仅次于金属材料。

③无机非金属材料是除金属材料和有机高分子材料以外的所有材料的统称,是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、卤素化合物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料。无机非金属材料的提法是在 20 世纪 40 年代以后,是随着现代科学技术的发展从传统的硅酸盐材料演变而来的,欧美将其称为陶瓷材料。这类材料的特点是坚硬、稳定、电绝缘性好、脆性大、耐高温、耐腐蚀。

④复合材料是由两种或两种以上性质不同的材料,通过人工方式复合而成的一种多

相固体材料。如钢筋混凝土、汽车轮胎、玻璃钢等都是典型的复合材料。复合材料的特点是综合性能优于原组分材料而满足各种不同的要求,具有可设计性,比强度高,比模量大,是当代材料领域一个重要的发展方向,在航空航天领域占有重要地位。

(2)按用途分为:结构材料与功能材料。

①结构材料是以力学性能为基础,用来制造受力制件所用的材料,如钢、塑料、合金等。

②功能材料是利用物质的独特物理、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。但一种材料有时既是结构材料又是功能材料,如不锈钢、钛合金、铝等。

(3)按使用领域分为:电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等。

(4)按材料发展过程分为:传统材料与新型材料。

①传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其用量大、产值高、涉及面广泛,又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。

②新型材料(先进材料)是指那些正在发展,且具有优异性能和应用前景的一类材料,如先进复合材料、功能梯度材料、形状记忆合金等,这类材料技术保密性强,附加值高,是高新技术的重要支撑。

需要指出,新型材料与传统材料之间并没有明显的界限,传统材料通过采用新技术,提高技术含量,提高性能,大幅度增加附加值而成为新型材料;新材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础,而新型材料又是推动传统材料进一步发展的动力。

### 0.3.2 材料应用概况

#### 1. 金属材料

工业上将金属材料划分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属又称铁类金属,是铁和以铁为基的合金,如钢、铸铁和铁合金等。有色金属是指黑色金属以外的所有金属和合金,又称非铁金属。金属材料是目前用量最大、使用最广的材料。

在机械制造业中,钢铁材料约占90%,有色金属约占5%。在汽车制造业中,有色金属与塑料的比例稍多些。图0.3为生产汽车各种材料的比例。

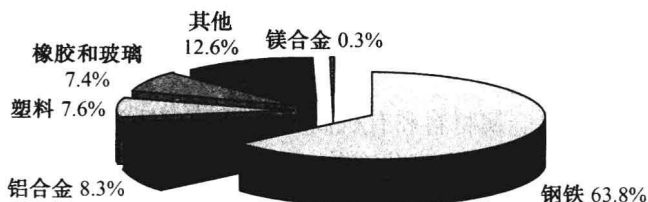


图 0.3 生产汽车各种材料的比例

钢铁材料虽不属高科技的先进材料,但因具有优良的力学性能、工艺性能和低的成

本,使其在 21 世纪中仍将占有重要地位。其他高分子材料、陶瓷材料或复合材料等可能会少量地代替金属材料,但钢铁材料的应用不会大幅度衰减。

在有色金属中,铝及其合金用得最多,这是因为:①质量轻,只有钢的  $1/3$ ,虽然铝合金的力学性能远不如钢,但如果设计者把减少质量放在性能要求的首位,最合适的就是铝合金。②有好的导热性和导电性,在远距离输送的电缆中多采用铝。③耐大气腐蚀,在美国,25% 的铝用来制作容器和包装品,20% 的铝用做建筑结构,还有 10% 的铝用做导电材料。钛合金的高温强度比铝合金好,也是金属材料中迄今发现的最好的耐蚀材料,但钛的价格比铝贵。在美国,钛合金主要用于航空、航天部门,在日本则主要用于化工设备和海洋开发方面。

## 2. 无机非金属材料

无机非金属材料也称陶瓷材料。通常把它们分为普通(或传统)的陶瓷材料和先进(或新型)的陶瓷材料两大类。

普通陶瓷材料由黏土、石英、长石等成分组成,主要作为建筑材料使用。如水泥、平板玻璃、仪器玻璃和普通的光学玻璃以及日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、化工陶瓷和电瓷等。

先进陶瓷材料,其化学组成和制造工艺与普通陶瓷都大不相同,其成分主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  等。在性能上有许多优点:①质量轻;②压缩强度高,甚至超过金属;③熔点高,耐高温;④硬度高,耐磨性能好;⑤化学稳定性高,耐蚀性好;⑥电绝缘性好。其缺点是容易脆断和不易加工成形。先进陶瓷材料是现代新技术、新产业、传统工业技术改造、现代国防和生物医学所不可缺少的物质基础。目前主要应用在电子元件、生物医学和敏感元件上,如半导体材料、非晶态材料、人工晶体、无机纤维等。

## 3. 高分子材料

高分子材料按用途可分为塑料、合成纤维和橡胶三大类型。而塑料又通常分为通用塑料和工程塑料。通用塑料主要制作薄膜、容器和包装用品,其在塑料生产中占 70%,聚乙烯的产量占整个塑料生产的 35%。工程塑料主要是指力学性能较高的聚合物,如聚酰胺(PA)、聚碳酸酯(PC)等。由于聚合物有优良的电绝缘性能,聚碳酸酯常用做计算机、打字机的外壳及电子通信设备中的接线板和控制按钮等。工程塑料也有利用其特殊物理或化学性能的,如有机玻璃(PMMA)透光率很高,达 92%(普通玻璃 82%),紫外线透过率为 73.5%(普通玻璃 0.6%),故适于制作飞机或汽车中的窗玻璃和厂房中的采光天窗等;聚四氟乙烯(PTFE)有极高的化学稳定性,能耐各种酸碱甚至王水的腐蚀,并在  $-196 \sim 250\text{ }^\circ\text{C}$  之间有稳定的力学性能,常用于制作化工管道和泵零件。全世界合成高分子材料(如塑料、合成纤维和合成橡胶等)年产量达  $1 \times 10^8\text{ t}$  以上,在体积上已超过所有金属的总和。高分子材料是材料领域中历史最短、发展最快的一类材料,从人们的日常生活到尖端高科技领域,高分子材料发挥了越来越重要的作用。

## 4. 复合材料

复合材料按基体可分为:聚合物基复合材料、金属基和陶瓷基复合材料三大类型。商业上用得最多的是聚合物基复合材料。早在 20 世纪 40 年代末就产生了用玻璃纤维增强