



普通高等教育“十五”国家级规划教材

材料概论

徐晓虹 主编
吴建锋 王国梅 赵修建 副主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

材 料 概 论

徐晓虹 主编

吴建锋 王国梅 赵修建 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本书内容体系符合本科人才培养的发展趋势,注重“加强基础、拓宽专业面”。本书构思新颖,先从四大材料基础知识入手,使学生对各种材料有一基本了解,然后按应用领域重点介绍了几种对当代文明进步起重要作用的热点材料,从而激发学生的学习热情。本书曾作为讲义在高校中试用,取得了良好的教学效果。

全书共 10 章,内容包括金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、能源材料、信息材料、航空航天材料、生物医学材料和环境材料。

本书可作为普通高校本科材料类专业的专业基础课教材,也可供相关专业研究生和科研、工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料概论/徐晓虹主编. —北京:高等教育出版社, 2006.5

ISBN 7-04-018681-0

I. 材... II. 徐... 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(2006)第 017620 号

策划编辑 庚欣 责任编辑 李京平 封面设计 李卫青 责任绘图 朱静
版式设计 马静如 责任校对 王超 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京四季青印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 22.75
字 数 550 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 5 月第 1 版
印 次 2006 年 5 月第 1 次印刷
定 价 28.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18681-00

前 言

材料是人类文明的基石。从石器时代、陶器时代、青铜器时代到铁器时代等,人类发展的历史也是材料的发明和进步的历史。现代社会的发展和进步更是与新材料的发明和广泛应用密不可分。没有高强度铝合金材料就不可能产生航天飞机,没有半导体材料就不可能有今天的信息革命。各种各样的材料正在改变着人们的生活。

在高等学校,如何培养材料科学与工程专业的人才,一直是近年来教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会和有关专家研究的课题。“加强基础、拓宽专业面”已逐渐成为共识。我们在多年的教学实践中也深深体会到,在低年级的学生中开设一门比较浅显易懂的材料概论课程是有益的,而且许多学校也开始这样做了。但我们和许多同行都苦于找不到一本比较适宜的教材。有的教材内容太深奥、太专业化,易使初学者对材料学产生恐惧或厌倦;有的教材太浅显、太零乱,让初学者无法系统学到材料学的精髓。于是,我们这些年青年教师决定根据自己的讲稿和科研教学的体会编写一本既通俗易懂,又有较强理论性和实用性的教材。编写计划提出后,得到教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会和高等教育出版社的认可和鼓励。

我们经过讨论认为,采用一种与众不同的方式编写这本教材可能是合适的,即开始先按四大基本材料(金属、非金属、高分子和复合材料),概述材料学的基本理论,包括组成、结构、工艺和性能,让学生对这四大类材料有个基本了解,然后再按应用领域重点介绍几种对当代文明进步起重要作用的热点材料(如能源材料、信息材料、航空航天材料、生物医学材料和环境材料等),让学生了解这些材料的特性、应用和发展方向,激发学生从事材料专业的热情。用这个体系编写的初稿,作为讲义在五届学生中进行了教学,取得了良好的教学效果。

本书主要由武汉理工大学承担材料概论课程教学的教师编写。第1、5章由徐晓虹编写,第2章由王华昌、朱兴元编写,第3、6章由王国梅编写,第4章由巫辉编写,第7章由余海湖编写,第10章由吴建锋编写。另外,还邀请了华中科技大学张胜民编写第9章,邀请山东工业陶瓷研究院陈虹编写第8章。全书由徐晓虹、吴建锋、王国梅、赵修建统稿。

国家863结构材料组专家、长江学者、武汉理工大学傅正义教授审阅了本书,在此表示感谢。本书的编写是我们的一种尝试,若有不妥之处,祈望专家和读者指正。

编者

2004年7月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.2 铁碳合金相图	25
1.1 材料的定义、判据及分类	1	2.4.3 铁碳合金的平衡结晶过程及 组织	27
1.1.1 材料的定义	1	2.4.4 碳的质量分数对铁碳合金平 衡组织和性能的影响	31
1.1.2 材料的判据	1	2.5 钢材的冶金过程和冶金质量	33
1.1.3 材料的分类	3	2.5.1 钢材的冶金过程	33
1.2 材料科学的形成及材料的发展 对人类进步的贡献	3	2.5.2 钢材的冶金质量	41
1.2.1 材料科学的形成	3	2.6 钢的热处理	45
1.2.2 材料的发展对人类进步的 贡献	4	2.6.1 钢的加热转变	46
1.3 材料科学与工程研究工作的 重点	6	2.6.2 钢的冷却转变	48
参考文献	7	2.6.3 钢的退火和正火	53
第 2 章 金属材料	9	2.6.4 钢的淬火和回火	54
2.1 金属的晶体结构	9	2.7 工业用钢	55
2.1.1 晶体与非晶体	9	2.7.1 钢的分类及编号	55
2.1.2 晶体结构与空间点阵	9	2.7.2 合金元素在钢中的作用	57
2.1.3 金属中常见的三种晶体 结构	10	2.7.3 合金结构钢	59
2.1.4 晶向指数和晶面指数	12	2.7.4 合金工具钢	62
2.2 实际金属中的晶体缺陷	13	2.7.5 特殊性能钢及合金	63
2.2.1 点缺陷	13	2.8 非铁金属与合金	66
2.2.2 线缺陷	14	2.8.1 铝及铝合金	66
2.2.3 面缺陷	15	2.8.2 铜及铜合金	70
2.2.4 体缺陷	16	2.8.3 钛及钛合金	72
2.3 金属材料的性能	16	2.8.4 轴承合金	73
2.3.1 金属的塑性变形	16	参考文献	75
2.3.2 塑性变形对金属组织与性能 的影响	18	第 3 章 无机非金属材料	76
2.3.3 回复与再结晶	20	3.1 陶瓷	76
2.4 铁碳合金	23	3.1.1 概述	76
2.4.1 铁碳合金的组元及基本相	23	3.1.2 陶瓷制备技术	79
		3.1.3 陶瓷材料的键性和结构	85
		3.1.4 陶瓷的基本性质	86
		3.1.5 普通陶瓷	89

3.1.6 特种陶瓷	91	4.3.2 橡胶	159
3.2 玻璃与非晶态材料	95	4.3.3 纤维	162
3.2.1 玻璃、无定形材料与非晶态 材料	95	4.3.4 胶粘剂	166
3.2.2 玻璃的分类	95	4.3.5 涂料	168
3.2.3 制备玻璃的常用方法	97	4.3.6 功能高分子材料	169
3.2.4 硅酸盐玻璃的结构	99	参考文献	170
3.2.5 玻璃的性质	101	第5章 复合材料	171
3.2.6 新型玻璃材料	105	5.1 概述	171
3.3 水泥及胶凝材料	107	5.1.1 复合材料的定义、分类及 性能	171
3.3.1 气硬性无机胶凝材料	107	5.1.2 复合材料的发展与应用	174
3.3.2 水泥	111	5.2 复合材料基体与增强体	175
3.4 混凝土	116	5.2.1 基体材料	175
3.4.1 概述	116	5.2.2 增强体	178
3.4.2 混凝土的分类	116	5.3 金属基复合材料	187
3.4.3 普通水泥混凝土的制作 原理	117	5.3.1 基体及增强体材料	188
3.4.4 普通混凝土的性能	119	5.3.2 金属基复合材料的制造 方法	189
3.4.5 特种混凝土	122	5.3.3 纤维增强金属基复合材料	190
3.5 耐火材料	124	5.3.4 颗粒增强金属基复合材料	191
3.5.1 概述	124	5.3.5 晶须增强金属基复合材料	193
3.5.2 耐火材料的分类	125	5.3.6 片层叠合金属基复合材料	194
3.5.3 耐火材料的制作原理	125	5.4 陶瓷基复合材料	194
3.5.4 耐火材料的性质	126	5.4.1 陶瓷基复合材料类型	194
3.5.5 耐火材料的种类	128	5.4.2 陶瓷基复合材料特性	195
3.5.6 新型耐火材料	131	5.4.3 陶瓷基复合材料制备工艺	195
参考文献	132	5.4.4 颗粒增强陶瓷基复合材料	197
第4章 高分子材料	134	5.4.5 晶须增强陶瓷基复合材料	197
4.1 概述	134	5.4.6 纤维增强陶瓷基复合材料	199
4.2 高分子材料的结构与性能	135	5.4.7 陶瓷基层状复合材料	204
4.2.1 高分子与高分子材料	135	5.5 聚合物基复合材料	205
4.2.2 聚合物结构	139	5.5.1 热固性树脂基复合材料	205
4.2.3 聚合物的分子运动及物理 状态	144	5.5.2 热塑性树脂基复合材料	207
4.2.4 高分子材料的力学性能	146	参考文献	211
4.2.5 高分子材料的物理性能	150	第6章 能源材料	212
4.3 高分子材料各论	155	6.1 世界能源状况与面临的挑战	212
4.3.1 塑料	155	6.1.1 能源需求	212
		6.1.2 矿物能源消费	213

6.1.3	能源结构的变化	213	7.5.2	磁存储材料	243
6.1.4	矿物能源面临枯竭的前景	213	7.5.3	无机光盘存储材料	244
6.1.5	矿物燃料燃烧造成的环境 污染	214	7.5.4	有机光盘存储材料	246
6.2	新能源与新能源材料	214	7.5.5	铁电存储材料	246
6.2.1	新能源	214	7.6	信息显示材料	247
6.2.2	新能源材料	216	7.6.1	液晶显示材料	247
6.3	能源转换与储能材料	220	7.6.2	等离子体显示材料	248
6.3.1	能量类型、来源、转换和 储存	220	7.6.3	阴极射线管显示材料	249
6.3.2	太阳能电池材料	221	7.6.4	场发射显示材料	249
6.3.3	热电转换材料	224	7.6.5	真空荧光显示材料	249
6.3.4	储氢材料	225	7.6.6	无机电致发光显示材料	249
	参考文献	229	7.6.7	有机电致发光显示材料	250
第7章	信息材料	231	7.7	信息传输材料	252
7.1	信息技术及相关材料概述	231	7.7.1	光纤通信材料	252
7.1.1	信息材料是信息技术发展的 基础与先导	231	7.7.2	微波通信材料	255
7.1.2	信息材料的分类	232	7.7.3	GSM 数字蜂窝移动通信 材料	256
7.1.3	信息材料的应用领域	232	7.8	信息传感材料	257
7.1.4	信息技术及信息材料的发展 趋势	233	7.8.1	力敏传感材料	257
7.2	微电子芯片技术材料	233	7.8.2	光敏传感材料	258
7.2.1	半导体材料	233	7.8.3	磁敏传感材料	259
7.2.2	超晶格半导体材料	235	7.8.4	压敏材料	259
7.2.3	集成电路互连材料	236	7.8.5	热(温)敏传感材料	259
7.2.4	钝化层材料	236	7.8.6	气敏材料	260
7.2.5	封装材料	236	7.8.7	湿敏材料	260
7.3	半导体激光器材料	237	7.8.8	光纤传感材料	260
7.3.1	半导体激光器	237		参考文献	261
7.3.2	半导体激光器材料	238	第8章	航空航天材料	262
7.4	信息处理材料	239	8.1	航空航天材料的种类及要求	262
7.4.1	微电子信息处理材料	239	8.1.1	航空航天材料的种类	262
7.4.2	光电子信息处理材料	240	8.1.2	航空航天材料的要求	263
7.4.3	集成光路材料	241	8.1.3	航空航天材料的发展方向	265
7.4.4	光电子集成回路材料	242	8.2	隐身材料	267
7.5	信息存储材料	243	8.2.1	雷达吸波材料	268
7.5.1	半导体存储器材料	243	8.2.2	结构型雷达吸波材料和吸 波-承载复合材料结构	275
			8.2.3	耐高温吸波材料	275
			8.2.4	红外隐身材料	276

8.2.5	多频谱兼容隐身材料	277	9.4.1	基因控制与活化	314
8.2.6	智能型隐身材料	277	9.4.2	细胞与基因活性材料的 制备	314
8.2.7	导电高聚物材料	278	9.4.3	细胞与基因活性材料的 利用	315
8.3	烧蚀耐热材料	278	9.5	生物医学材料前沿领域	315
8.3.1	树脂基防热烧蚀复合材料	279	9.5.1	组织工程与组织工程材料	315
8.3.2	弹性体基防热烧蚀复合 材料	280	9.5.2	药物、基因与 DNA 控释材料 与系统	316
8.3.3	几种典型的烧蚀耐热材料	281	9.5.3	生物材料与人体器官克隆	317
8.3.4	防热烧蚀材料的应用概况	284	参考文献		318
8.4	高比强度合金与高温合金	284	第 10 章 环境材料		319
8.4.1	高强高韧铝合金	285	10.1	环境材料的定义、特征和 分类	320
8.4.2	高温高强钛合金	286	10.1.1	定义	320
8.4.3	高温合金	287	10.1.2	环境材料的特征	320
8.4.4	超高强度钢	288	10.1.3	分类	321
8.4.5	铝锂合金	290	10.2	环境材料的评价方法	321
参考文献		292	10.2.1	环境协调性评价	321
第 9 章 生物医学材料		294	10.2.2	能源评价法	323
9.1	生物医学材料总论	294	10.2.3	环境影响因子评价法	323
9.1.1	概述	294	10.2.4	环境负荷单位法	323
9.1.2	生物医学材料的定义与 特性	298	10.2.5	生态指数	323
9.1.3	生物医学材料的分类	300	10.2.6	环境商值	324
9.1.4	生物医学材料的研究内容	301	10.2.7	生态因子法	324
9.2	生物惰性材料	302	10.2.8	单位服务的材料消耗	324
9.2.1	生物惰性陶瓷	302	10.3	环境材料设计与生产	324
9.2.2	碳质生物材料	303	10.3.1	生态设计	324
9.2.3	生物惰性金属材料	304	10.3.2	清洁生产	326
9.2.4	生物惰性高分子及复合 材料	307	10.3.3	材料的循环再生	327
9.3	生物活性和可降解材料	308	10.4	环境降解材料	328
9.3.1	多孔陶瓷	308	10.4.1	光降解塑料	329
9.3.2	生物活性玻璃和玻璃陶瓷	308	10.4.2	生物降解塑料	329
9.3.3	钙磷陶瓷和水泥	309	10.4.3	光-生物双降解塑料	332
9.3.4	复合生物活性材料与生物活 性涂层	312	10.4.4	可降解塑料的应用	332
9.3.5	生物可降解材料	313	10.5	水处理材料	332
9.4	细胞与基因活性生物材料	314			

10.5.1 废水生物处理材料	333	10.6.2 几种典型工业固体废弃物的利用	345
10.5.2 废水物化处理材料	335	参考文献	353
10.6 固体废弃物的综合利用	343		
10.6.1 概述	343		

第 1 章 绪 论

1.1 材料的定义、判据及分类

1.1.1 材料的定义

材料(materials)是人类文明和技术进步的标志,是人类赖以生存和发展壮大的重要物质基础。人类赖以生存和生活的有物质、能量和知识,与它们对应的分别有材料、能源和信息。自然界中的物质,可为人类用于制造有用物品的叫做材料。自然界中的能量,可为人类经济地利用的叫做能源。人类社会中的知识,需要利用和传播的叫做信息。

广义的材料定义中的“物品”包括食品、衣物和器件。若将定义中的物品用器件来置换,便是狭义的定义,也是材料科学与工程中经常采用的定义。现代科技及材料工业的发展,材料便有了现代的定义,即可为人类社会接受的、经济地制造有用器件的物质叫做材料。

1.1.2 材料的判据

从材料的定义可知,不是所有的物质都是材料,即材料 \neq 物质,正如人才 \neq 知识分子、白马 \neq 马。那么什么物质才能叫做材料?因此,需要材料判据,据以判断哪些物质才是材料。根据材料的现代定义,材料可由资源判据、能源判据、环保判据、经济判据、质量判据五个判据来判定。

(1) 资源判据

材料的资源可分为天然的和再生的两种。由图 1-1 可见材料从生到灭(from cradle to grave)的循环。在这个大循环(vast material cycle)中,社会对机器(machines)、结构(structures)、装置(devices)等产品(products)的需求,推动了这个循环的物质流动,同时,这种流动的速度又限制了社会的需求。

从全世界来看,金属的资源日趋枯竭。据调查,即使全世界已探明的资源储量增加 10 倍,而且 50% 可再生,可维持的年代也不是很长,更何况能达到 50% 再生的材料也不多。尽管海水中有可观的金属(如 Mg、Sr、Li、Zn、Fe、Al、Mo、Sn、Cu、V、Ni、Ti、Sb、Ag、W、Cr、Th、Pb、Au) 储量,但开发成本高,难以满足目前的经济判据。

各国依据自己资源情况,颁布政策,引导材料的生产和科研,如在第二次世界大战及朝鲜战争时期,美国颁布了合金元素的使用政策,促进了硼钢及钨钼系高速钢的科研与生产。战争结束后,取消了这些政策,硼钢产量大降,而钨钼系高速钢由于技术上和经济上的优越性,代替了绝大部分的钨系高速钢。

(2) 能源判据

20 多年来,由于能源的供应较为紧张,为了降低材料成本和满足政府法令的要求,材料的生产和使用都需要考虑能耗问题。一方面,生产厂家为了提高竞争能力,通过改进生产流程,降低能耗,从而降低成本。另一方面,政府颁布政策,迫使生产厂家进行节能的研究。如美国政府以法律形式规定了汽车耗油量的上限,否则不准出厂。这就迫使汽车厂从事降低车重和提高发动机效率以及有关材料方面的研究。

(3) 环保判据

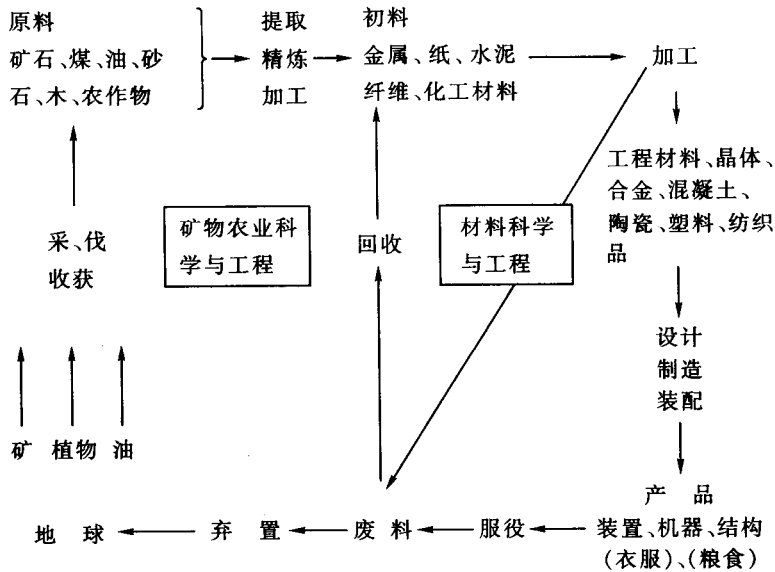


图 1-1 材料从生到灭的大循环示意图

从发展历程来看,资本主义国家在发展初期,资本家唯利是图,材料生产不考虑环保问题。但是近 20 多年来,由于人民的要求,各国已逐渐重视材料生产和科研的环保判据。

例如美国的钢都——匹兹堡,在 1960 年是空气严重污染的城市,随近郊 J-L 钢厂的关闭,空气污染已有好转,而远郊的美国钢铁公司于 1980 年投资 4 亿美元,进一步解决了污染问题等。因此,材料的生产和使用,需重视“三废”的处理、噪声的降低、生态平衡等环境问题,否则将遭到大自然的报复。这便是材料的环保判据。

(4) 质量判据

物质能否用于制造有用器件,是物质是否是材料的一个重要技术判据,材料的质量是是否能制造有用器件的先决条件,因此质量是材料的一个重要技术判据。材料的质量包括内在的和表面的两种。内在质量反映材料的成分、组织、结构、宏观缺陷等是否满足或超过技术标准的要求;表面质量包括表面缺陷、表面粗糙度、尺寸公差等。

(5) 经济判据

材料的生产 and 科研,必须进行成本分析和经济核算,从而计算经济效果,这便是材料的经济判据。对材料的生产进行成本分析,从中可找出降低成本的环节,然后寻求措施。“价值工程”是一门技术与经济相结合的边缘技术科学,它所研究的成本,是整个生产过程以及随后的产品贮

存、流通、销售、使用、维护全过程的费用。这种分析和研究,不仅可提高企业的经济效益,而且可提高全社会的经济效益。

在材料领域工作的人们,应综合考虑这五个判据。当然,由于社会的分工不同,侧重点会有所不同。

1.1.3 材料的分类

随着材料科学与技术的发展,材料的种类日益繁多。据估计,到 20 世纪末,材料的种类可能已超过 40 万种。材料的分类方法众多,最常见的分类可概括为图 1-2。

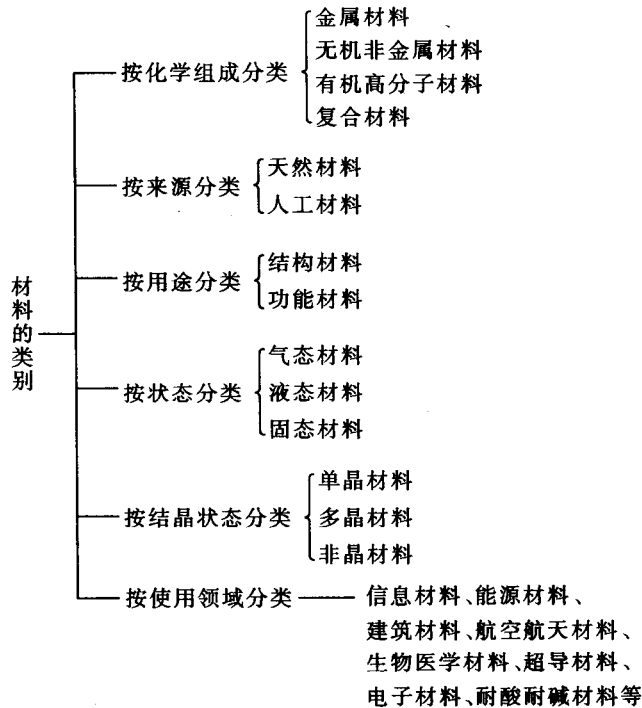


图 1-2 材料的分类

1.2 材料科学的形成及材料的发展对人类进步的贡献

1.2.1 材料科学的形成

材料科学是研究材料的科学。人类所使用或制作物品的物质虽然被称为材料,但作为科学研究对象的材料,则是那些制造有用器件或物品的人造物质。“材料科学”(materials science)的提出是在 20 世纪 60 年代初。1957 年苏联人造卫星首先上天,美国朝野上下为之震惊,认为自己落后的主要原因之一是先进材料落后,于是在一些大学相继成立了十余个材料研究中心。采

用先进的科学理论与实验方法对材料进行深入的研究,取得了重要成果。从此,“材料科学”这个名词便开始流行。

材料科学的形成实际是科学技术发展的结果。固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展,以及对物质结构和特性的深入研究,推动了对材料本质的了解。同时,冶金学、金属学、陶瓷学、高分子科学等的发展也使对材料本身的研究大大加强,从而对材料的制备、结构与性能,以及它们之间的相互关系的研究愈来愈深入,为材料科学的形成打下了坚实的基础。在材料科学这个名词出现以前,金属材料、高分子材料与陶瓷材料都已自成体系,当前复合材料也获得广泛应用,其研究也逐步深入。但它们之间存在着颇多相似之处,对不同类型材料的研究可以相互借鉴,从而促进学科的发展。

由于材料的获得、质量的改进与使材料成为人们可用的器件或构件都离不开生产工艺和制造技术等工程知识,所以人们往往把“材料科学”与“工程”相提并论,而称为“材料科学与工程”。也就是说,材料科学与工程(materials science and engineering, MSE)就是研究有关材料组成、结构、制备工艺流程与材料性能和用途关系的知识的产生及其运用(MSE is concerned with the generation and application of knowledge relating the composition, structure, and processing of materials to their properties and uses),也即材料科学与工程是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及它们之间的关系的。MSE的工作目标是通过材料组成、结构及工艺的设计,达到提高材料性能及使用效能(performance)、节约资源、减少污染、降低成本的最佳状态。

材料科学与工程有以下几个特点:

(1) 材料科学是多科交叉的新兴学科 作为每类材料来说,各自早就是一门科学了,如与金属材料有关的物理冶金与冶金学等,有机高分子材料是有机化学的一个分支,陶瓷材料则是无机化学中的一部分,都积累了丰富的专门知识和基础理论。材料科学理所当然地继承了其中的精华。此外,材料科学与许多基础学科有不可分割的联系,如固体物理学、电子学、光学、声学、固体化学、量子化学、有机化学、无机化学、胶体化学、数学、计算科学、生物学和医学等。因此,材料科学的边界并不是固定的,其范围随科学技术的发展而不断变化,研究对象的内涵也不不断深化。

(2) 材料科学与工程技术有不可分割的联系 材料科学是研究材料的组织结构与性能的关系,从而发展新兴材料,并合理有效地使用材料。但是,材料的商品化要经过一定经济合理的工艺流程才能制成,这就是材料工程。反之,工程要发展,也需要研制出新的材料才能实现。因此,材料科学与工程是相辅相成的。

(3) 材料科学与工程有很强的应用目的和明确的应用背景 研究材料中的基本规律,目的在于为发展新型材料提供新的途径和新技术、新方法或新流程,或者为更好地使用已有材料,以充分发挥其作用,进而能对使用寿命做出正确的估算。因此,材料科学与工程是一门应用基础科学,它既要探讨材料的普遍规律,又有很强的针对性。材料科学研究往往通过对具体材料的研究找出普遍的规律,进而推动材料的发展和推广使用。

1.2.2 材料的发展对人类进步的贡献

20世纪70年代,人们把能源、信息和材料归纳为现代物质文明的三大支柱,材料又是一切技术发展的物质基础。材料的使用和发展与生产力和科学技术水平密切相关。人类的文明史可按使用材料的种类划分,如石器时代(Stone Ages)、青铜器时代(Bronze Ages)、铁器时代(Iron

Ages)。发展到今天,一个国家使用的材料品种和数量已成为衡量这个国家科学技术和经济发展水平的重要标志。

大约 100 万年前,人类发现了火和石斧(史称石器时代),结束了人类茹毛饮血的生活,由此人类开始走向文明。公元前 6000 年古巴比伦王国出现了俗称青铜的锡铜合金,史称青铜器时代,开始有武器、工具和生活用具。当青铜中锡的含量大于 30% 时,其熔点在 232 ~ 750 ℃ 之间。用普通木材做燃料已可达到此温度。因此青铜容易获得。事实上,在此后相当长的时间内(到 17 世纪),材料的发展都是与人类的加热技术水平联系在一起的。

很多国家(包括我国),在公元前 1500 年开始用风箱和木炭将铁矿石加热到高温后在高温下还原,从而开始了铁器时代。此时不仅用铸铁来制造武器、工具和生活用具,而且可用于制造结构材料和器具。我国成语中所谓百炼成钢就是这一段历史中的冶金技术之一。当时的加热技术只能冶炼铸铁(1 148 ℃),所以通过对铸铁的反复加热和在此过程中脱碳来降碳而达到钢的成分。我国在秦朝时铸造技术已达到很高的水平,并出现了许多先进热处理工艺,包括化学热处理和表面热处理等。这些技术在当时居于国际领先水平。到公元 16 世纪,生产钢所用的还原剂由木炭到煤炭,再到焦炭,所能达到的温度越来越高,最后达到了大约 1 600 ℃ 的水平。生产规模越来越大,已发明了高炉。

上述长期积累的冶金术在 18 到 19 世纪进展到了以分子论为基础的近代化学体系,认识到了元素的存在,发现了元素周期表。到了 19 世纪,在电磁学、热力学、分子物理学领域都得到了巨大的发展。

当钢铁在高温下也具有高强度这一点被人们认识到以后,将热能转变为机械能的蒸汽机出现了。蒸汽机的发明,是人类文明史上又一重要里程碑。第一台蒸汽机 1712 年出现于英国达德利城堡,由铁匠纽可门和集铅管匠和锡匠于一身的卡利制造,用于煤矿排除积水。然而,其效率极低,只利用了热量的 1%。1777 年苏格兰格拉斯哥大学机匠瓦特对蒸汽机作了重大改进,热量利用效率大大提高。从此,蒸汽机的普及走上了坦途。炼铁技术和制造技术的发展,开创了人类文明的新时代。以蒸汽机发明为起点,近 200 年来,人类经历了 4 次技术革命。新的技术革命一次比一次迅猛,对人类的影响一次比一次深远。进入 20 世纪,人类科学技术发明和创造之和超过了以往 2000 年的总和。

第一次技术革命发端于 18 世纪后期,以蒸汽机的发明及广泛应用为主要标志,实现了高炉、转炉、平炉制造优质钢材的工业化。由此引发了纺织工业、冶金工业、机械工业、造船工业等的工业大革命。正是这次技术革命的产物,使人类从手工工业时期跃进到机器工业时代,开创了工业社会的文明。第二次技术革命开始于 19 世纪末,以电的发明和广泛应用为标志,由于远距离输电材料以及通信、照明用的各种材料的工业化,实现了电气化。其结果是石油开采、钢铁冶炼、化学工业、飞机工业、电气工业、电报电话等迅猛发展,组成了现代产业群,使人类跨进了一个新的时代,实现了向现代社会的转变,促进了国际关系的最终形成。第三次技术革命始于 20 世纪中期,以原子能应用为主要标志。1942 年 12 月,意大利物理学家费米在美国建立了第一个核反应堆,实现了控制核裂变,使核能利用有了可能,实现了合成材料、半导体材料等大规模工业化、民用化,把工业文明推到顶点,开启了通向信息社会文明的大门。20 世纪 70 年代开始,人类进入了一个新的阶段——第四次技术革命,它以计算机,特别是微电子技术、生物工程和空间技术为主要标志,以新型材料、新型能源、生物工程、航天工业、海洋开发等新兴技术为主攻方向。

1946年世界第一台电子计算机诞生,用了18 000个电子管,总质量30余吨,占地180 m²,运算速度为每秒5 000次,比人工运算快1千至数千倍。今天,用大规模集成电路制成的台式个人计算机每秒运算4.5亿次。目前,世界上最快的计算机每秒运算速度为1万亿次,每秒1 000万亿次的超级电脑已在研制中。人类实现了DNA的人工合成,并发展了克隆技术,登上了月球,探测了火星,实现了人类遨游太空的梦想。

在热能转变为机械能之前,人类所用的动力是人力和畜力。由热能转变为机械能开始的产业革命,是近代文明发展的里程碑,因为大规模工业生产的前提是人类具有机械动力。世界也由此进入了工业时代。随后,化学能转变为电能的电池也开始问世。由于电的出现,人们发现很多金属是电的良导体,电流会产生磁场。而Fe、Co、Ni等元素及其合金还能在磁场中磁化,成为永磁体。过去人们只注重材料的强度和韧性,这时认识到了它还具有其他功能。以这些金属或合金为基础,制造了变机械动力为电力的发电机和变电力为机械力的电动机。这样,将水所具备的势能和热能转变为电能,就使得动力的输送和利用变得方便了。从此以蒸汽机为开端的机械文明完成了进一步的飞跃,而进入电气时代。在此期间人们发现了热电子现象,即W等金属的细丝在真空中通电加热后可以放出电子。在20世纪后,根据此发现制造了二极管和晶体管,由此发展了电子学理论,并在电磁波的发射和接收方面有了进展,最终造出了收音机。又由于晶体学、量子力学、固体物理学的进展,人们对材料在原子数量级有了深入的了解,PN结型半导体出现了,发展了晶体管代替电子管。进而由集成电路和超大规模集成电路代替了晶体管,由此带动了电视机和计算机的出现和发展。这些电子器件使工业的自动控制、设备的小型化、产品质量控制和加工精度、劳动生产率和管理效率、信息的传播等都得到了很大的提高,对工业进步乃至人类文明起到了不可估量的作用。

在此基础上,随着各种新材料以及相应制造工艺的研究和发展(包括信息存储、信息传输材料和小型化所需要的纳米制造技术),计算机产业飞速发展,计算机功能的增加、尺寸的减小和价格的降低,使计算机的普及成为现实。计算机也由简单的只具有计算和文字处理功能而发展成为具有多媒体功能,将声音、图像等各种信息联系在一起,并通过网络进行交流。这使得人类能够充分利用已有的科学资源,加速了科学的交流和发展,使人类又跨入了一个全新的发展阶段,即信息时代。信息时代以网络、计算机、数码、光纤、多媒体为主要标志,部件的微型化、产品的个人化、功能的超强化、信息的复杂化、传递的准确化和速度化、网络的国际化和空间化是信息时代的基本特征。信息时代是在思维科学的引导下使现代电子工程学、生物工程学以及传播通信学出现划时代大飞跃的时代。可以说,工业时代和电气时代还主要是解放人类的双手,而在信息时代,人类则主要是解放自己的大脑,这是人类对自身大脑的结构、细胞、神经元系统、信号传导转换功效长期进行研究、模仿,并试图超越、代替之的结果。从经济角度来看,则是从农业经济到工业经济,再到知识经济的过程。

1.3 材料科学与工程研究工作的重点

材料科学已经成为继续推动人类进步及社会发展的不可缺少的最重要的学科之一,具有广阔的发展前景。今后材料科学与工程研究工作的重点主要有以下几个方面。

1. 新工艺、新技术和新合成方法的探索

伴随每一种新工艺、新技术或新流程的出现,材料的发展就将发生一次飞跃。因此必须充分重视材料的新工艺、新技术和新合成方法的研究与探索。如喷气式飞机所用的高温合金的发展就是一个明显的例子:从20世纪40年代到50年代末,主要是通过传统的冶炼、压力加工而制成。其最高使用温度仅为900℃左右。相继采用精密铸造、定向凝固与单晶技术、粉末冶金、弥散强化等工艺后,使合金质量及工作温度逐步提高,目前航空发动机在高温条件下成千上万小时的长期工作而能确保安全。

2. 组成、结构与性能的关系,特别在接近使用条件下性能的研究

当前,对许多有关材料的物理现象的了解已比较深入,而对材料的力学性质则仍然停留在比较肤浅的阶段。如材料断裂问题,虽然已经有近一个世纪的研究工作,但还有许多问题很不清楚。因为它对结构非常敏感,影响它的因素众多,所以只能用一些宏观参数来进行表征,如屈服强度、断裂强度、断裂韧性等。可以从一些基本问题(如表面与界面、缺陷及其与原子间的相互作用等)着手进行探索来深入研究材料的断裂。研究材料的性能要与微观、宏观结合起来研究,许多宏观现象取决于微观结构,包括分子、原子,甚至深一层的粒子。对使用条件下材料性能的研究,也要从原子组成与结合力、热力学与动力学等方面出发研究其强度、形变、损伤及破坏过程,即所谓的微观力学。通过宏观力学与微观力学的结合,对材料力学行为才会有一个全面的认识。目前运用已有知识进行设计与使用寿命估算差距还很大,需要投入更大的力量进行探索。

3. 重视高精度仪器设备的发展

事实说明,科研仪器每前进一步,就会有新的科学发现,对事物的了解就会更深一步。电子显微镜技术的不断提高,其能力达到可以分辨单原子的程度,从而才会有准晶态的发现。因此,在诺贝尔奖获得者中有相当大的比例给予了仪器原理的发现者。

目前,在机械设计中广泛采用的是“损伤容限”设计,就是零件在使用过程中允许有一定大小的裂纹存在,只要在产生灾害性破坏限度以下,就被判定为可靠。因此,能确定裂纹在构件中的部位、形状及大小的无损装置就是关键,否则就可能造成失误。又如,工程陶瓷材料目前存在的最大问题之一是质量稳定性,发展高精度的无损技术,对陶瓷产品进行在位即时监控,以确保产品性能的可靠性是当务之急。

应该指出的是,科学仪器的发展往来自研究工作者的需要和实践,而不是仪器制造者或厂商,后者只是把前者的新发现、新发明制作成商品,提高精度,增加精度而已。因此,研究工作者必须重视仪器的发展,否则很难使研究工作走在世界的前列。

4. 运用计算机开展研究

计算机的发展使过去一些无法解决的问题能迅速而准确地得到答案。近年来,使用计算机的材料数据库和材料设计蓬勃发展,可以预测,在材料研究中必将更多地使用计算机。

参 考 文 献

- [1] 肖纪美. 材料学的方法论[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [2] 蒋青. 材料科学与工程导论[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1999.
- [3] 周达飞. 材料概论[M]. 北京:化学工业出版社,2001.