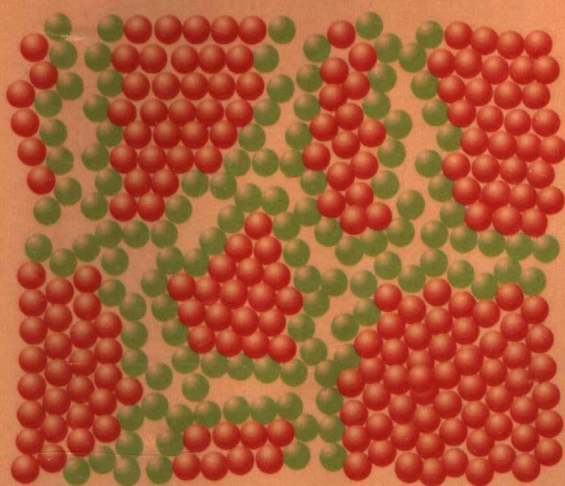


• 高等学校教学用书 •

金属材料工程概论

刘宗昌 任慧平 郝少祥 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高等学校教学用书

金属材料工程概论

刘宗昌 任慧平 郝少祥 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 简 介

本书较全面地讲述了金属材料科学与工程方面的基本知识,也介绍了有关非金属材料的知识。主要内容包括材料的划分、金属材料的基本性能、金属材料的生产及加工(包括材料的冶炼、铸造、冷-热加工、焊接、金属热处理、粉末冶金等)、金属结构材料、金属耐蚀材料、金属耐磨材料、金属功能材料、亚稳态材料、铸铁、有色金属及合金、非金属材料、金属整合系统、材料科学基础理论知识等。

本书既是高校金属材料工程专业、塑性成形及控制专业学生的教材,又可供从事材料学研究的科研人员以及相关工程技术人员阅读参考。

· 图书在版编目(CIP)数据

金属材料工程概论/刘宗昌,任慧平,郝少祥编著.

—北京:冶金工业出版社,2007.2

高等学校教学用书

ISBN 978-7-5024-4178-4

I. 金… II. ①刘… ②任… ③郝… III. 金属材料—高等学校—教材 IV. TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 019159 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 张 卫(Tel:010-64027930;E-mail:bull2820@sina.com)

马文欢(Tel:010-64027931;E-mail:whma2005@126.com)

张爱平(Tel:010-64027928;E-mail:zaptju99@163.com)

美术编辑 李 心 责任校对 白 迅 李文彦 责任印制 丁小晶

北京兴顺印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007 年 2 月第 1 版,2007 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12 印张; 319 千字; 178 页; 1—3000 册

26.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

材料对社会、经济及科学技术活动的影响面大、带动作用强,既是支撑国民经济发展的基础,更是人类社会进步、社会文明程度的重要标志。

新材料是发展高新技术的基础和先导,世界各国纷纷将新材料研究开发列为 21 世纪优先发展的关键领域之一。我国十分重视发展材料工业,特别是新材料产业和材料科学技术。已经建立了较为完整的材料工业体系。目前,钢铁、有色金属、合成纤维等材料的产量均达到了世界前列,我国已经成为世界第一产钢大国。材料行业已成为我国国民经济高速、稳定发展的保障,也奠定了我国成为世界材料大国的地位。近年来,我国材料产业和工程迅猛发展,取得了辉煌成就。

本书是为金属材料工程专业和塑性成形及控制专业编写的入门课程教材,课程安排在大学一年级第 2 学期讲授,30 学时,是近年来教学改革增设的一门新课,其前修课程是普通物理、普通化学等基础知识,后续课程为物理化学、金属学等专业基础理论课程和专业课。通过本课程的学习,学生将对材料科学与工程专业有一个总的了解和初步的认识。本书主要介绍了材料科学与工程专业的研究范畴、材料的生产应用及发展、本专业涉及的科学领域和行业概况及在社会和国民经济中的地位和作用,涉及领域广泛,叙述了新知识、新材料、新数据、新概念、新工艺,内容丰富而全面。各章均列有复习思考题。本书内容也可供从事材料学研究、材料加工、铸锻焊、热处理等行业的工程技术人员参考。

本书涉及的知识面较宽,采用通俗的讲解方法,从应用历史讲起,注重材料的研究、应用现状,着眼于 21 世纪的未来,力图建立“传承文明,开拓创新”的意识。

本书第 1、2、11、12、13 章由内蒙古科技大学刘宗昌撰写;第 3、7、8、10 章由内蒙古科技大学任慧平撰写;第 4、5、6、9 章由郑州经济管理干部学院郝少祥撰写。刘宗昌教授负责全书的总成。

在本书编写过程中,参考了许多专著、教科书、论文等文献,在此向这些文献的作者表示感谢!

本书是一部新教材,需要在教学实践中不断完善和改进,欢迎读者提出宝贵意见。

刘宗昌

2006 年 8 月 18 日

目 录

1 材料在国民经济中的地位	1
1.1 材料是人类文明大厦的基石	1
1.2 材料的新发展	2
1.2.1 金属材料	3
1.2.2 陶瓷材料	4
1.2.3 高分子材料	4
1.2.4 新材料研究与发展的总趋势	5
1.3 高技术新材料的研发	6
1.3.1 信息材料	7
1.3.2 能源材料	7
1.3.3 生物材料和智能材料	8
1.3.4 结构材料	9
1.3.5 新材料的研究开发	10
1.4 我国钢铁材料的发展成就及目标	10
1.4.1 钢产量跃居世界第一	11
1.4.2 发展目标	11
1.5 材料的划分	12
1.5.1 依据材料的来源划分	12
1.5.2 依据生产及使用情况划分	12
1.5.3 依据实用的重要性“破类”划分	12
1.5.4 依据对材料的主要性能要求划分	13
1.5.5 用途最广和用量最大的金属结构材料——钢	13
1.5.6 非铁金属及其合金的选用	13
复习思考题	14
2 金属材料导论	15
2.1 材料简史及金属科学	15
2.1.1 金属材料应用简史	15
2.1.2 金属科学的产生和发展	16
2.2 金属材料的一般特性	17
2.2.1 工艺性能	18
2.2.2 使用性能	18
2.2.3 工艺性能和使用性能的联系	18

2.3 决定金属材料性能的基本因素	19
2.3.1 成分因素	19
2.3.2 组织结构因素	19
2.4 两大图形——相图和 C 曲线	21
2.4.1 相图	21
2.4.2 动力学曲线与 C 曲线	24
2.5 常用力学性能指标	26
2.5.1 强度与塑性	26
2.5.2 弹性与刚度	27
2.5.3 冲击韧性	27
2.5.4 硬度	27
2.5.5 疲劳极限	28
2.5.6 断裂韧性	29
复习思考题	29
3 金属材料的生产及加工	30
3.1 金属冶炼与质量控制	30
3.1.1 金属冶炼方法	30
3.1.2 成分的控制	31
3.1.3 气体与夹杂	32
3.1.4 组织结构控制	33
3.2 铸造	33
3.2.1 铸造过程及铸造性能	34
3.2.2 特种铸造方法	34
3.3 冷加工与热加工	36
3.3.1 材料加工工艺路线	36
3.3.2 加工类型	36
3.3.3 锻造或轧制	37
3.3.4 轧锻后钢材的退火	38
3.3.5 切削加工	39
3.4 焊接工程	39
3.4.1 焊接的历史	40
3.4.2 焊接方法的分类及其特点	40
3.4.3 压力焊接	41
3.4.4 熔化焊接	41
3.5 金属热处理技术及其发展	42
3.5.1 概述	42
3.5.2 国内外热处理技术发展的现状	44
3.5.3 热处理生产技术改造的方向	46

3.6 粉末冶金	48
3.6.1 粉末冶金的应用和生产	48
3.6.2 粉末冶金技术的发展	49
3.6.3 金属陶瓷硬质合金	49
3.7 表面工程	50
3.7.1 表面工程的特点	50
3.7.2 复合表面工程	51
3.7.3 纳米表面工程	52
复习思考题	52
4 金属结构材料	53
4.1 钢的分类及编号	53
4.1.1 碳素钢的分类	53
4.1.2 碳素钢的编号	54
4.1.3 合金钢的分类	54
4.1.4 合金钢的编号	55
4.2 碳素结构钢和低合金高强度钢	55
4.2.1 碳素结构钢	55
4.2.2 低合金高强度钢	56
4.3 中、高碳铁素体-珠光体钢	59
4.3.1 概述	59
4.3.2 组织结构和力学性能	59
4.3.3 钢的设计及改进	60
4.4 调质钢	61
4.4.1 概述	61
4.4.2 选择及设计	61
4.4.3 调质钢的淬透性和典型钢种	62
4.4.4 低碳马氏体钢	62
4.5 超高强度钢	63
4.5.1 概述	63
4.5.2 钢的成分、组织设计	64
4.5.3 低合金超高强度钢	65
4.5.4 马氏体时效钢	65
4.6 弹簧钢	66
4.6.1 弹性	66
4.6.2 疲劳极限	67
4.6.3 钢种及特性	67
4.7 渗碳钢、渗氮钢	68
4.7.1 渗碳钢	69

4.7.2 渗氮钢	70
4.8 双相钢	71
4.8.1 概述	71
4.8.2 钢种及特性	72
4.9 低温用钢	73
4.9.1 性能要求	73
4.9.2 钢种及特性	74
复习思考题	74
5 不锈钢和耐热钢	75
5.1 金属的腐蚀	75
5.1.1 腐蚀的分类	75
5.1.2 金属腐蚀的基本过程	75
5.2 常用不锈钢	76
5.2.1 奥氏体不锈钢	77
5.2.2 铁素体不锈钢	78
5.2.3 马氏体不锈钢	78
5.2.4 奥氏体-铁素体复相不锈钢	79
5.2.5 奥氏体-马氏体型沉淀硬化不锈钢	79
5.3 抗氧化钢	80
5.3.1 抗氧化腐蚀	80
5.3.2 钢种及应用	81
5.4 热强钢	82
5.4.1 影响热强性的因素	82
5.4.2 珠光体热强钢	83
5.4.3 奥氏体耐热钢	84
5.4.4 马氏体耐热钢	84
5.5 气阀钢	84
5.5.1 气阀的工作条件和性能要求	84
5.5.2 马氏体气阀钢	85
5.5.3 奥氏体气阀钢	85
复习思考题	85
6 金属耐磨材料	86
6.1 工具钢	86
6.1.1 碳素工具钢	86
6.1.2 合金刃具钢	87
6.1.3 高速工具钢	88
6.1.4 合金模具钢	89

6.1.5 合金量具钢	89
6.1.6 其他类型工具钢	90
6.2 其他耐磨钢	90
6.2.1 轴承钢	90
6.2.2 高碳高锰奥氏体钢	91
6.2.3 石墨钢	91
6.2.4 钢轨钢	92
6.2.5 耐磨用普通低合金钢	92
6.3 塑料模具钢	93
6.3.1 热塑性塑料注射模的主要失效方式	93
6.3.2 热塑性塑料注射模的工作条件和性能要求	93
6.3.3 塑料模具钢的预硬化处理	93
复习思考题	95
7 金属功能材料	96
7.1 磁性材料	96
7.1.1 物质磁性的基础知识	96
7.1.2 磁性材料的分类及特点	98
7.1.3 软磁材料	99
7.1.4 永磁材料	101
7.2 形状记忆合金	101
7.2.1 形状记忆效应	101
7.2.2 形状记忆效应的基本原理简介	102
7.3 贮氢合金	103
7.4 其他功能材料	105
7.4.1 生物医学材料	105
7.4.2 梯度功能材料	105
7.4.3 智能材料	106
7.4.4 低维功能材料	106
7.4.5 超磁致伸缩材料	107
7.4.6 磁制冷及磁蓄冷材料	107
7.4.7 磁阻材料	107
复习思考题	108
8 亚稳态材料	109
8.1 纳米材料	109
8.1.1 纳米材料的结构	110
8.1.2 纳米材料的特性	111
8.1.3 纳米材料的形成	111

8.2 准晶材料	111
8.2.1 准晶的结构	111
8.2.2 准晶的形成	112
8.2.3 准晶的性能	112
8.3 非晶态材料	113
8.3.1 非晶态的形成	113
8.3.2 非晶态的结构	113
8.3.3 非晶态材料的性能	114
复习思考题	115
9 铸铁	116
9.1 铸铁的石墨化及分类	116
9.1.1 铁碳合金双重相图	116
9.1.2 铸铁的石墨化	117
9.1.3 铸铁的分类	117
9.2 工业常用铸铁	118
9.2.1 灰口铸铁	118
9.2.2 球墨铸铁	119
9.2.3 蠕墨铸铁	120
9.2.4 可锻铸铁	121
9.2.5 合金铸铁	122
复习思考题	123
10 有色金属及合金	124
10.1 有色金属的应用及生产	125
10.1.1 有色金属的应用	125
10.1.2 有色金属的生产	125
10.2 铜及铜合金	126
10.2.1 工业纯铜	126
10.2.2 黄铜	126
10.2.3 青铜	127
10.3 铝及其合金	128
10.3.1 工业纯铝的主要特性	128
10.3.2 铝合金的分类及时效强化	128
复习思考题	130
11 非金属材料	131
11.1 高分子材料	131
11.1.1 高分子化合物的含义和组成	131
11.1.2 高分子化合物的结构	131

11.1.3 高分子材料的基本特性	133
11.1.4 高分子材料的分类	134
11.2 陶瓷材料	135
11.2.1 陶瓷的基本相结构	135
11.2.2 陶瓷的性能特点	136
11.2.3 常用陶瓷材料	137
11.3 复合材料	139
11.3.1 复合材料的概念	139
11.3.2 复合材料的性能特点	140
11.3.3 常用复合材料	141
复习思考题	143
12 金属整合系统	144
12.1 金属及合金复杂系统	144
12.1.1 金属及合金系统	144
12.1.2 系统的特征	144
12.2 金属及合金整合系统	145
12.2.1 整合系统与混合系统	145
12.2.2 整体大于部分之总和的特点	145
12.2.3 相变动力学问题	146
12.3 非线性相互作用	147
12.3.1 相变临界点的非线性问题	147
12.3.2 珠光体片间距与过冷度呈非线性关系	149
12.3.3 合金元素对珠光体长大速度的非线性影响	149
12.3.4 力学性能的非线性问题	150
12.4 固态相变的自组织	150
12.4.1 固态相变自组织的条件	150
12.4.2 钢中的相变过程的自组织	151
复习思考题	152
13 材料科学基础理论知识	153
13.1 材料的结合方式	153
13.1.1 材料的结合方式	153
13.1.2 工程材料的键性	154
13.2 晶体和非晶体	154
13.2.1 晶体和非晶体	154
13.2.2 空间点阵	155
13.2.3 典型金属的晶体结构	156
13.3 金属及合金的结晶	157

13.3.1 结晶的能量条件	157
13.3.2 冷却曲线和过冷度	157
13.3.3 金属结晶的一般过程	158
13.3.4 非晶态凝固基本知识	158
13.4 金属的多型性	159
13.5 金属的固态相变分类	160
13.5.1 按平衡状态分类	160
13.5.2 按原子迁移特征分类	164
13.5.3 按热力学分类	164
13.6 材料科学的中心内容和研究方法	164
13.6.1 中心内容	164
13.6.2 研究方法和学习方法	164
复习思考题	165
附 录	166
附录 1 各类钢的相变临界点	166
附录 2 相关常数	174
附录 3 化学元素名称英汉对照表	174
参考文献	177

1 材料在国民经济中的地位

1.1 材料是人类文明大厦的基石

人类社会发展的历史证明,材料是人类生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础,也是人类社会现代文明的重要支柱。纵观人类利用材料的历史,可以清楚地看到,每一种重要的新材料的发现和应用,都使人类支配自然的能力提高到一个新的水平。材料科学技术的每一次重大突破,都会引起生产技术的革命,大大加速社会发展的进程,并给社会生产和人们生活带来巨大的变化。

在遥远的古代,我们的祖先是石器为主要工具的,他们在寻找石器的过程中认识了矿石,并在烧陶生产中发展了冶铜术,开创了冶金技术。公元前 5000 年,人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右,人类进入了铁器时代,开始使用的是铸铁,后来制钢工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

材料对社会、经济及科学技术活动的影响面大、带动作用强,既是支撑国民经济发展的基础产业,也是当代科技创新的前沿,更是人类社会进步的里程碑,是社会文明程度的重要标志。

20 世纪后期,基础科学、工程技术不断进步,材料科学技术取得了一系列创新的突破,新材料大批涌现,应用领域和规模不断扩大,已经成为当代极富活力的高新技术产业。科学技术突飞猛进、日新月异,作为“发明之母”和“产业粮食”的新材料研制更是异常活跃,出现了一个“材料革命”的新时代。

当今国际社会公认,材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱。从现代科学技术发展史中可以看到,每一项重大的新技术发明,往往都有赖于新材料的发展。对国民经济和现代科学技术具有重要作用的半导体材料就是一个明显的例证。半导体材料的出现对电子工业的发展具有极大的推动作用。以电子计算机为例,自 1946 年世界上第一台真空管电子计算机问世以来,由于锗、硅等半导体材料和晶体管等半导体器件的相继研制成功和广泛应用,计算机技术获得了极其迅速的发展,在短短 40 多年里,经历了一代代产品更新。1967 年大规模集成电路问世促使微型计算机的出现,现在一台微型计算机的功能和世界第一台大型电子管计算机相当,但运算速度快了几百倍,体积仅为原来的三十万分之一,重量仅为原来的六万分之一。当前,几个原子层厚的半导体材料以及其他新型光电子材料的研究进展,将加速整个信息技术革命的进程,在这类材料基础上发展起来的光电子技术,将代表 21 世纪新兴工业的特色。

所谓材料,是指人类能用来制作有用物件的物质。所谓新材料,主要是指最近发展或正在发展之中的具有比传统材料更为优异性能的一类材料。目前世界上传统材料已有几十万种,而新材料的品种正以每年大约 5% 的速度增长。世界上现有 800 多万种人工合成的化合物,而且还在以每年 25 万种的速度递增,其中相当一部分有发展成为新材料的潜力。

世界各国对材料的分类不尽相同,但就大的类别来说,可以分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料及复合材料四大类。若按照材料的使用性能来看,可分为结构材料与功能材料两大类。结构材料的使用性能主要是力学性能;功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等

功能性能。从材料的应用对象来看,它又可分为信息材料、能源材料、建筑材料、生物材料、航空航天材料等多种类别。

国际上关于材料科学与工程的战略研究表明,它是高技术发展的一个关键,而且对国计民生、国家安全以及增强国家在国际市场上的竞争力都有重要影响。

我国一贯重视新材料的研究和发展,从而保证了“两弹一星”等尖端技术的顺利发展。中国高技术研究发展计划于1986年开始列项论证,1987年全面实施,新材料属于重点研究发展领域之一,被命名为“关键新材料和现代材料科学技术”,其基本任务是为各相关领域提供关键新材料并促进我国现代材料科学技术的发展。除中长期的高技术计划外,我国新材料的研究发展工作还有针对国民经济建设和国防建设的国家新材料攻关计划,有为高技术产业化服务的火炬计划、为乡镇企业服务的星火计划。在国家自然科学基金资助项目和攀登计划中,也都包含有新材料研究的重要内容。

通过多年来的努力,我国新材料的研究、发展和产业化的工作已经取得了长足的进步,一大批新材料填补了国内空白,其中有些已达到国际先进水平。例如,在信息材料方面,我国的无机非线性光学晶体已达到国际领先水平,一批性能优异的“中国牌”晶体,如三硼酸锂、偏硼酸钡、高掺镁铈酸锂以及有机晶体磷酸精氨酸等已经推向国际市场;在能源材料方面,结合我国富有的稀土资源而研究发展的新型贮氢材料,在实验室条件下成功地应用于镍氢电池的制造,目前正向中试生产过渡,力争形成国际市场;在高性能金属材料方面,我国继美国、原联邦德国等少数国家之后已经成功地建成了年产百吨级的非晶合金中试线,可喷制带宽为100 mm的非晶薄带卷材,为非晶合金铁芯变压器取代硅钢片变压器打下了良好的基础;在先进陶瓷方面我国也取得了令人瞩目的成绩,1990年我国研制成功的无水冷陶瓷发动机装在45座的大客车中完成了上海至北京往返3500 km的道路试车;我国在先进复合材料的研制方面也已取得显著进步,各种高性能增强体材料正在逐步替代进口产品。我国正在新材料的主要领域紧跟国际先进水平,努力创新,充分发挥本国资源和人才方面的优势,逐步形成具有中国特色的新材料体系。

1.2 材料的新发展

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。近20年来,以信息、生物、能源和新材料为代表的高新技术及其产业的迅猛发展,深刻地影响着各国的政治、经济、军事和文化,高技术产业已经成为世界经济发展的新动力,其发展水平和规模决定了一个国家在世界经济中的地位和国际竞争力。

新材料是发展高技术的基础和先导,世界各国纷纷将新材料研究开发列为21世纪优先发展的关键领域之一。我国十分重视发展材料工业,特别是新材料产业和材料科学技术,并且取得了辉煌的成就。1949年以来,经过几代人的不懈努力,我国已经建立了较为完整的规模庞大的材料工业体系,钢铁、建材、有色金属、合成纤维等材料的产量均达到了世界前列,如今我国已经成为世界第一产钢大国。国民经济高速稳定的发展保障,奠定了我国的世界材料大国的地位。

新材料是指那些新出现或正在发展中的、有别于传统材料改性、具有传统材料所不具备的优异性能和特殊功能的材料。目前,一般按应用领域和研究性质把新材料分为:电子信息材料、新能源材料、纳米材料、先进复合材料、先进陶瓷材料、生态环境材料、新型功能材料(含高温超导材料、磁性材料、金刚石薄膜、功能高分子材料等)、生物医用材料、高性能结构材料、智能材料、新型建筑及化工新材料等。

随着信息产业、生物产业以及航空航天、核技术等新兴高技术产业的发展和传统材料的高技

术化,新材料产业蓬勃发展。据保守估算,现今世界上各种新材料市场规模每年已超过 4000 多亿元,由新材料带动而产生的新产品和新技术则是更大的市场,新材料产业已是 21 世纪初发展最快的高新技术产业之一。

金属、陶瓷、高分子三大工程材料的发展历史可以追溯到上万年前的远古时代,但作为现代科学技术的基础,它们却只有数百年乃至近百年的历史。以下分别介绍这三大工程材料的最新进展情况。

1.2.1 金属材料

如前所述,一直到 20 世纪中叶,在材料工业中金属材料一直占绝对优势。近半个世纪以来,随着高分子材料(尤其是合成高分子材料)、无机非金属材料(尤其是先进陶瓷材料)以及各种先进复合材料的发展,金属材料的绝对主导地位才逐渐被其他材料部分取代。但是,在可以预见的将来,金属材料仍将占据材料工业的主导地位。这是因为金属材料(例如钢铁)工业已经具有了一整套相当成熟的生产技术和庞大的生产能力,并且质量稳定,供应方便,在性能价格比上也占有一定优势;在相当长时期内,金属材料的资源也是有保证的,且其可回收可循环使用,材料本身使用中对环境没有污染。当然最重要和根本的原因还在于金属材料具有为其他材料体系不能完全取代的独特的性质和使用性能,例如,金属有比高分子材料高得多的模量,有比陶瓷高得多的韧性以及具有磁性和导电性等优异的物理性能。并且在陶瓷材料和高分子材料日新月异的发展过程中,金属材料也在不断地推陈出新,许多新兴金属材料应运而生。例如,传统的钢铁材料正在不断提高质量、降低成本、扩大品种规格,在冶炼、浇铸、加工和热处理等工艺上不断革新,出现了如炉外精炼、连铸连轧、控制轧制等新技术,微合金钢、低合金高强度钢、双相钢等新钢种不断涌现。在有色金属及合金方面则出现了高纯高韧铝合金,高强高模铝锂合金,高温铝合金,先进的高强、高韧和高温钛合金,先进的镍基、铁镍铬基高温合金,铜合金,难熔金属合金及稀贵金属合金等。除此之外,还涌现了许多其他新型高性能金属材料,如快速凝固金属非晶和微晶材料、纳米金属材料、有序金属间化合物、定向凝固柱晶和单晶合金等。新型金属功能材料,如磁性材料中的钕铁硼稀土永磁合金及非晶态软磁合金、形状记忆合金、新型铁氧体及超细金属隐身材料、贮氢材料及活性生物医用材料等也正在向着高功能化和多功能化方向发展。

目前世界钢铁材料发展动向大致表现在如下几个方面:

- (1) 高性能、低成本。
- (2) 节约能源、少污染。
- (3) 提高比强度,减少构件重量。
- (4) 可回收,并且能够循环使用。

我国已经成为世界第一产钢大国,2005 年粗钢产量达到 3.52 亿 t,钢材 3.97 亿 t,但其冶金质量有待提高。目前重点发展的品种是:控轧、控冷低碳微合金钢,非调质钢,纯净钢,相变塑性钢,冷作强化钢等。

我国新一代钢铁材料发展方向是高纯净度、高均匀性、超细晶粒。日本“超级钢铁材料”计划目标是:在不增加合金元素的前提下,将普通高强度合金钢的强度提高 1 倍(抗拉强度由 400 MPa 提高到 800 MPa),而且可以焊接,焊后不降低强度。研究耐海水腐蚀的新钢种,使其寿命延长 1 倍。超临界耐热锅炉钢板,服役条件:650℃,35.5 MPa,拟采用铁素体耐热钢。发展 1500 MPa 的超高强度钢,克服延迟断裂,提高疲劳强度。拟采用有残留奥氏体膜包围的低碳马氏体。

研究发现,改变晶界结构,如锯齿状,可以抗延迟断裂;加入适量的铜可以阻止氢的扩散,从

而可减少延迟断裂倾向。

钢铁材料研究方面,日本在普通低碳钢中,将磷提高到 0.1%,经中温热轧,促使磷化物在晶内均匀析出,克服了其脆性,变害为利,开发成功一种低成本高强度钢。我国在 IF 钢研究中,Ti 达 0.04%,S 达 0.06%,850℃退火,550℃时效, $\sigma_b = 1200$ MPa。在 IF 钢中加入 1.4% Cu,于 550~650℃时效后,硬度为 HV240~250。此外研究开发高温渗碳钢,用 Nb-Ti-V-N 细化晶粒,1050℃快速渗碳晶粒不长大。研究高效防火钢材,低屈强比的建筑钢材。

我国钢铁发展方向应当是在保证产量的同时,大力提高钢铁材料的质量,做到高质量、多品种。

1.2.2 陶瓷材料

陶瓷材料是人类最早利用自然界所提供的原料制造而成的材料,旧石器时代的先民们只会把采集的天然石料加工成器皿和工件。经历了漫长的发展和演变过程。以黏土、石英、长石等矿物原料配制而成的瓷器才登上了历史的舞台。从陶器发展到瓷器,是陶瓷发展史上的第一次重大飞跃。由于低熔点的长石和黏土等成分配合,在焙烧过程中形成了流动性很好的液相。冷却后成为玻璃态,形成釉,使瓷器更加坚硬、致密和不透水。从传统陶瓷发展到先进陶瓷,是陶瓷发展史上的第二次重大飞跃,这一过程始于 20 世纪 40~50 年代,目前仍在不断发展。当然,传统陶瓷和先进陶瓷之间并无绝对的界线,但二者在原材料、制备工艺、产品显微结构等许多方面确有相当的差别。从先进陶瓷发展到纳米陶瓷将是陶瓷发展史上的第三次重大飞跃,陶瓷科学家还需在诸如纳米粉体的制备、成形、烧结等许多方面进行艰苦的工作,预期在 21 世纪初,陶瓷科学在这一方面将取得重大突破。

先进陶瓷按性能大体上分为先进结构陶瓷和先进功能陶瓷两大类。

1.2.2.1 先进结构陶瓷

陶瓷材料的固有优点是强度、硬度和耐磨、耐热能力都非常好,在高温和强腐蚀介质的环境下,工作性能稳定。从这方面来看,金属和高分子材料是很难和陶瓷竞争的。陶瓷的主要缺点是韧性不好,目前已经找到许多使陶瓷增韧的方法,可以提高结构陶瓷的断裂韧性。

先进结构陶瓷是按其化学组成分类的,先进结构陶瓷有莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、氧化铝(Al_2O_3)、氧化锆(ZrO_2)、氮化硅(Si_3N_4)等)、碳化硅(SiC)、氮化硼(BN 等)和复相陶瓷等。结构陶瓷由于其脆性问题没有得到彻底解决,加之成本较高,目前主要应用在刀具、模具等领域。

1.2.2.2 先进功能陶瓷

功能陶瓷主要是指利用材料的电、磁、声、光、热、弹性等方面直接的或耦合的效应以实现某种使用功能的陶瓷。先进功能陶瓷习惯上是按其使用功能和实用器件来进行分类的。其特点是品种繁多、丰富多彩。功能陶瓷与电子技术有很密切的关系,所谓的“功能”,在很多情况下都与电子技术有某种联系。

先进功能陶瓷大体上包括装置陶瓷、电容器陶瓷、铁电陶瓷、压电陶瓷、电致伸缩陶瓷、热释电陶瓷、半导体陶瓷、导电与超导陶瓷、光学陶瓷以及敏感陶瓷等。其中有些陶瓷,如陶瓷基片与陶瓷封装、电容器陶瓷等已形成很大市场。有些陶瓷,如远红外陶瓷、快离子导电陶瓷、超导陶瓷,目前虽然市场容量不大,或者市场正在形成之中,但其研究工作相当活跃,一旦在材料性能与制备技术方面有所突破,将有很大的发展。

1.2.3 高分子材料

人类活动与高分子(或称聚合物)有着密切的关系。在漫长的岁月里,无论是人类用于充饥

的淀粉或蛋白质,还是御寒用的皮、毛、丝、麻、棉,都是天然的高分子材料,就连人体本身,基本上也是由各种生物高分子构成的。大约在 20 世纪 20 年代中期,科学技术的发展使科学家们有可能用物理化学和胶体化学的方法去研究天然和实验室合成的高分子物质的结构。德国物理化学家斯陶丁格经过近 10 年的研究认为,高分子物质是由具有相同化学结构的单体,经过化学反应(聚合)将化学键连接在一起的大分子化合物。高分子或聚合物一词即源于此。1928 年当斯陶丁格在德国物理和胶体化学年会上宣布这一观点时,却遭到多数同行反对而未被承认。但真理是在斯陶丁格这一边的,经过两年的实验验证,1930 年斯陶丁格再次在德国物理和胶体化学年会上阐明他的高分子概念观点时,他成功了。至此,历经 10 余载的争论,科学的高分子概念才得以确立。为表扬斯陶丁格的功绩,瑞典皇家科学院授予他 1953 年诺贝尔化学奖。

高分子材料具有许多优良性能,适合工业和人民生活各方面的需要,而且它的原料丰富,适合现代化生产,经济效益显著,而且不受地域、气候的限制,因而从 1930 年高分子科学概念建立至今,高分子材料工业取得了突飞猛进的发展。目前世界上合成高分子材料的年产量已近 2 亿 t。如今高分子材料已经不再是金属、木、棉、麻、天然橡胶等传统材料的代用品,而是国民经济和国防建设中的基础材料之一。与此同时,高分子科学的三大组成部分——高分子化学、高分子物理和高分子工程也已日趋成熟。

高分子是由碳、氢、氧、氮、硅、硫等元素组成的分子量足够高的有机化合物。之所以称为高分子,就是因为它的分子量高。常用高分子材料的分子量在几百到几百万之间,高分子量对化合物性质的影响就是使它具有了一定的强度,从而可以作为材料使用。这也是高分子化合物不同于一般化合物之处。又因为高分子化合物一般具有长链结构,每个分子都好像一条长长的线,许多分子如集在一起,就成了一个扯不开的线团,这就是高分子化合物具有较高强度、可以作为结构材料使用的根本原因。另一方面,人们还可以通过各种手段,用物理的或化学的方法,或者使高分子与其他物质相互作用后产生物理变化或化学变化,从而使高分子化合物成为能完成特殊功能的功能高分子材料。

功能高分子材料主要包括物理功能高分子和化学功能高分子。前者如导电高分子、磁性高分子、光功能高分子、液晶高分子和信息高分子材料等;后者如反应性高分子、离子交换树脂、高分子催化剂、高分子试剂及人工脏器。此外还有生物功能和医用高分子材料,如生物高分子、模拟酶、高分子药物及人工骨材料等。

高分子材料包括塑料、橡胶、纤维、薄膜、胶黏剂和涂料等,其中被称为现代高分子三大合成材料的塑料、合成纤维、合成橡胶已经成为国家建设和人民生活必不可少的重要材料。

1.2.4 新材料研究与发展的总趋势

新材料研究与发展的总趋势为:

(1) 新材料的研发与生产、应用成一体化的趋势。新材料从实验室的研究与开发、工程化中试验证、到最终投入市场将实现规模产业。现代材料科学与工程强调使用行为导向的研究,强调合成与加工制备过程的研究,以加速研究到应用的进程。另外,多学科的交叉已成为促进材料科学发展、新材料研发的重要趋向。

(2) 深入微观层次有目标地发现和开发新材料。进入 21 世纪,人类正处在新一轮科技革命浪潮的前沿,开始从原子水平设计和制造材料与器件,纳米技术打开了具有定义新型材料和器件的大门,可以预料将会产生更多更新的材料与器件,其中人工构造材料将是最具有潜力的进展领域,特别是信息功能材料、生物功能材料和结构-功能型新材料将是新材料的重要发展方向,将会产生实质性重大突破。