

材料科学与工程系列



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

Foundations of Materials Engineering
(Second Edition)

材料工程基础

第2版

王昆林 编著

清华大学出版社



北京高等教育精品教材
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

材料科学与工程系列

材料工程基础

Foundations of Materials Engineering
(Second Edition)

第2版

王昆林 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书阐述了材料科学与工程的基础理论及其在材料加工工程中的应用,介绍了材料的成分、加工工艺、组织结构和性能之间的关系。主要包括原子结构与原子间结合键、晶体结构、固体中的扩散、材料的固化、相图、固态相变与金属热处理、金属的力学性能及其他性能、高分子材料的结构与性能、陶瓷的结构与性能等内容。

本书可作为高等院校材料科学与工程、材料加工工程和机械工程类专业学生的教材,也可供有关工程技术人员学习、参考。

本书为北京高等教育精品教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料工程基础/王昆林编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2009.9
(材料科学与工程系列)

ISBN 978-7-302-20958-4

I. 材… II. 王… III. 工程材料—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第158718号

责任编辑:宋成斌

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:23.25 字 数:478千字

版 次:2009年9月第2版 印 次:2009年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:024900-01

前 言

本书是根据教育部 1998 年调整的最新专业目录,为适应按系设置宽口径专业的改革需要,本着加强基础、淡化专业和宽口径的宗旨,作为材料加工工程专业的通用教材,并作为“材料加工原理”、“材料加工工艺”和“工程材料”课程的配套教材而编写的。

本书是在清华大学出版社《材料工程基础》第 1 版(2003 年)的基础上重编的。保留了《材料工程基础》第 1 版中的一些重要内容,并参照国内外最新教材,按新的材料加工工程专业方向的要求,进行了较大的修改和补充。本书不仅系统介绍了材料科学与工程的基础理论,而且各章节均紧密结合材料加工学科的现状与发展动向,补充了较多的新事例,介绍了前沿性科研成果,为学生进一步学习材料加工工程的专业知识打下必要的基础。如在“晶体结构”一章中,不但介绍了晶体结构的经典内容,而且介绍了准晶和液晶等新内容,以及分析晶体结构的 X 射线法;在“固体扩散”一章中,不仅介绍了扩散的一般特点,还介绍了离子晶体、共价晶体和非晶体扩散的特点,以及扩散与材料加工的关系等新内容;在“凝固”一章中,首先介绍了材料固化的一般理论,接着介绍了金属凝固和高聚物的固化等,还增加了凝固理论的实际应用部分,介绍了微重力条件下金属的凝固、定向凝固和急冷凝固技术等具有国际先进水平的新科研成果和前沿课题;既考虑到目前以金属材料为主要加工对象的现状,又注意到高分子材料和陶瓷在材料加工工程中日益广泛应用的发展前景。

本书不仅介绍材料组织结构的知识,而且增加了材料性能尤其是力学性能的知识,重点突出材料的成分、加工工艺、组织结构与性能的关系,使学生更好地掌握本课程学习的主线。

配合本教材,另外编写了《材料工程基础辅导与实验》一书。内容包括《材料工程基础》各章内容提要、习题、课堂讨论指导书和实验指导书,作为《材料工程基础》的配套教材。

本书得到北京市教育委员会高等教育精品教材建设项目和清华大学“985”教材项目的资助,特表示衷心的感谢。

本书的编写参考了国内外的有关教材、科技著作等文献,在此特向有关作者致以深切的谢意。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

王昆林

2009 年 3 月

目 录

1 绪论	1
1.1 材料发展概要	1
1.1.1 石器时代.....	1
1.1.2 青铜器时代.....	2
1.1.3 铁器时代.....	3
1.1.4 钢铁工业和有色金属的发展.....	3
1.1.5 非金属材料的发展.....	4
1.1.6 复合材料及新材料技术的发展	4
1.2 材料应用现状	5
1.3 新材料的发展趋势	7
1.4 材料科学与工程简介.....	11
1.4.1 材料科学与工程学科的形成	11
1.4.2 材料科学与工程的内容	12
1.4.3 材料科学与工程的特点	16
1.5 材料的分类.....	17
1.5.1 金属材料	18
1.5.2 高分子材料	18
1.5.3 陶瓷材料	19
1.5.4 复合材料	19
1.6 材料加工工程简介.....	19
1.6.1 材料加工工艺	20
1.6.2 新一代材料加工技术	21
1.6.3 材料加工过程的计算机建模与仿真	22
1.6.4 材料加工对结构和性能的影响	23
2 原子结构与原子间结合键	25
2.1 原子结构.....	25
2.2 原子序数和原子质量.....	25
2.2.1 原子序数	25

2.2.2	核素与同位素	26
2.2.3	原子质量与相对原子质量	26
2.3	原子的电子层结构	27
2.3.1	核外电子的运动状态	27
2.3.2	多电子原子轨道的能级	29
2.3.3	原子的电子层结构	31
2.3.4	原子的电子层结构与元素周期律、周期表	35
2.3.5	原子结构与元素性质	38
2.4	原子的结合键	43
2.4.1	一次键	43
2.4.2	二次键	46
2.4.3	混合键	47
2.4.4	结合键的本质及原子间距	48
2.4.5	结合键与性能	49
3	晶体结构	51
3.1	晶体特征	51
3.2	空间点阵与晶胞	52
3.2.1	空间点阵和晶格	52
3.2.2	晶胞	52
3.3	晶系与布拉菲点阵	53
3.4	晶向与晶向指数	55
3.4.1	立方晶系的晶向指数	55
3.4.2	六方晶系的晶向指数	56
3.5	晶面与晶面指数	56
3.5.1	立方晶系的晶面指数	56
3.5.2	六方晶系的晶面指数	58
3.6	晶带和晶面间距	58
3.6.1	晶带	58
3.6.2	晶面间距	59
3.7	典型的金属晶体结构	60
3.7.1	体心立方晶胞	60
3.7.2	面心方立晶胞	60
3.7.3	密排六方晶胞	61
3.7.4	三种典型晶体结构的比较	61
3.8	原子体密度、面密度和线密度	67

3.8.1	原子体密度	67
3.8.2	原子面密度	67
3.8.3	原子线密度	69
3.9	多晶型性与同素异构转变	69
3.10	单晶与多晶	71
3.11	离子晶体结构与共价晶体结构	72
3.11.1	离子晶体结构	72
3.11.2	共价晶体结构	73
3.12	微晶、准晶与液晶	74
3.12.1	微晶	74
3.12.2	准晶	74
3.12.3	液晶	75
3.13	合金相结构	77
3.13.1	固溶体	77
3.13.2	中间相	84
3.14	晶体缺陷	89
3.14.1	点缺陷	90
3.14.2	线缺陷	92
3.14.3	面缺陷	100
3.15	非晶态合金	104
3.16	用 X 射线衍射法分析晶体结构	105
4	固体中的扩散	107
4.1	概述	107
4.1.1	扩散机制	107
4.1.2	扩散的驱动力	109
4.1.3	固态扩散的分类	109
4.2	扩散定律	110
4.2.1	稳态扩散与扩散第一定律	110
4.2.2	非稳态扩散与扩散第二定律	111
4.3	影响扩散的因素	113
4.3.1	温度的影响	113
4.3.2	晶体结构的影响	114
4.3.3	基体金属的性质	114
4.3.4	固溶体类型对扩散的影响	115
4.3.5	固溶体浓度对扩散的影响	115

4.3.6	晶体缺陷的影响	116
4.4	反应扩散	116
4.4.1	反应扩散的过程及特点	116
4.4.2	反应扩散的实例	116
4.5	离子晶体和共价晶体中的扩散	118
4.5.1	离子晶体中的扩散	118
4.5.2	共价晶体中的扩散	119
4.6	纳米晶体材料的扩散	119
4.7	非晶体中的扩散	120
4.8	扩散与材料加工	120
4.8.1	扩散与晶粒长大	120
4.8.2	钢的气体渗碳表面硬化	121
4.8.3	硅晶片的掺杂扩散	123
4.8.4	扩散焊	123
4.8.5	扩散与烧结和粉末冶金	124
5	材料的固化	125
5.1	材料固化的概念与特征	125
5.1.1	材料固化的概念	125
5.1.2	材料固化的特征	125
5.2	金属的结晶	126
5.2.1	金属结晶的条件与过程	126
5.2.2	形核	130
5.2.3	晶核长大	136
5.2.4	金属铸锭的组织	141
5.3	高聚物的固化	142
5.3.1	固化过程及特点	142
5.3.2	二次结晶与热处理	144
5.4	材料固化理论的应用	145
5.4.1	细化晶粒	145
5.4.2	液态急冷技术	147
5.4.3	单晶的制取	150
5.4.4	定向凝固	150
5.4.5	微重力(太空失重)条件下的材料固化	151

6 相图	153
6.1 相图基本概念	153
6.1.1 相图.....	153
6.1.2 相图的表示方法.....	153
6.1.3 相图的建立方法.....	154
6.2 相律和杠杆定律	155
6.2.1 相律.....	155
6.2.2 杠杆定律.....	155
6.3 二元匀晶相图	157
6.3.1 相图分析.....	157
6.3.2 平衡结晶过程分析.....	157
6.3.3 非平衡结晶过程分析.....	158
6.3.4 成分过冷与晶体长大形态.....	160
6.4 二元共晶相图	164
6.4.1 相图分析.....	164
6.4.2 典型合金平衡结晶过程分析.....	165
6.4.3 初晶和共晶的组织形态.....	168
6.4.4 非平衡结晶的特点.....	170
6.5 二元包晶相图	172
6.5.1 相图分析.....	172
6.5.2 典型合金平衡结晶过程分析.....	173
6.5.3 非平衡结晶的特点.....	174
6.6 其他类型的二元相图	175
6.6.1 具有化合物的相图.....	175
6.6.2 具有三相平衡恒温转变的其他二元相图.....	177
6.6.3 具有同素异晶转变的相图.....	178
6.7 相图基本类型小结	180
6.7.1 相图基本形式.....	180
6.7.2 相图基本单元及其组合规律——相区接触法则.....	180
6.8 二元相图的分析	181
6.8.1 二元相图的分析方法.....	181
6.8.2 二元相图分析举例.....	182
6.9 相图与性能的关系	183
6.9.1 相图与合金使用性能的关系.....	183
6.9.2 相图与合金工艺性能的关系.....	184
6.10 铁碳合金相图.....	185

6.10.1	铁碳相图	185
6.10.2	典型铁碳合金的平衡结晶过程	189
6.10.3	碳对铁碳合金平衡组织与性能的影响	195
6.10.4	Fe-Fe ₃ C相图在材料加工中的应用	199
7	固态相变与金属热处理	201
7.1	固态相变概述	201
7.1.1	固态相变的概念	201
7.1.2	相变的分类	202
7.2	钢的热处理原理	204
7.2.1	钢在加热时的转变	204
7.2.2	钢在冷却时的转变	209
7.2.3	珠光体转变	216
7.2.4	马氏体转变	221
7.2.5	贝氏体转变	225
7.3	钢的热处理工艺	228
7.3.1	钢的普通热处理	229
7.3.2	钢的表面热处理	239
7.3.3	钢的化学热处理	240
7.3.4	钢的热处理新技术	247
8	金属的力学性能及其他性能	251
8.1	金属的应力与应变	251
8.1.1	拉伸的应力与应变	251
8.1.2	压缩的应力与应变	254
8.1.3	弯曲的应力与应变	255
8.1.4	剪切的应力与应变	257
8.1.5	扭转的应力与应变	258
8.2	弹性性能	259
8.3	金属单晶体的塑性变形	261
8.3.1	滑移	261
8.3.2	孪生	265
8.4	金属多晶体的塑性变形	266
8.4.1	多晶体塑性变形的特点	267
8.4.2	晶粒大小对变形的影响	268
8.5	合金的塑性变形	269

8.5.1	固溶体的塑性变形特点	269
8.5.2	多相合金的塑性变形特点	271
8.6	塑性变形对合金组织和性能的影响	272
8.6.1	塑性变形对组织结构的影响	272
8.6.2	塑性变形对性能的影响	275
8.7	金属及合金的回复与再结晶	276
8.7.1	形变金属或合金加热过程中的一般变化	277
8.7.2	回复	278
8.7.3	再结晶	279
8.7.4	再结晶后的晶粒长大	283
8.7.5	再结晶退火后的组织	286
8.7.6	金属与合金的热加工	287
8.8	金属的断裂	288
8.8.1	断裂的一般过程	289
8.8.2	脆性断裂	289
8.8.3	韧性断裂	291
8.8.4	韧性—脆性的转移	292
8.8.5	断裂韧性	293
8.9	金属的疲劳	294
8.10	金属的蠕变和持久强度	296
8.10.1	金属的蠕变	296
8.10.2	持久强度	297
8.11	硬度	297
8.11.1	布氏硬度	298
8.11.2	洛氏硬度	298
8.12	金属的磨损	299
8.13	金属的物理和化学性能	300
8.13.1	金属的物理性能	300
8.13.2	金属的化学性能	302
8.14	金属的工艺性能	302
8.14.1	铸造性能	303
8.14.2	锻造性能	303
8.14.3	焊接性能	304
8.14.4	切削加工性能	304
8.14.5	热处理工艺性能	304

9 高分子材料的结构与性能	305
9.1 概述	305
9.1.1 高分子材料的基本概念	305
9.1.2 高分子材料的合成	308
9.1.3 高聚物材料的加工成型	309
9.2 高聚物的结构	310
9.2.1 大分子内和大分子之间的相互作用	310
9.2.2 大分子链结构	311
9.2.3 大分子的聚集态结构	317
9.3 高聚物的性能	319
9.3.1 高聚物的力学性能	319
9.3.2 高聚物的物理性能和化学性能特点	330
10 陶瓷的结构与性能	333
10.1 陶瓷材料概述	333
10.1.1 陶瓷的概念	333
10.1.2 陶瓷的分类	333
10.1.3 陶瓷的生产	334
10.2 陶瓷的组织与结构	336
10.2.1 陶瓷的组织	336
10.2.2 陶瓷的结构	336
10.3 陶瓷材料的性能	342
10.3.1 陶瓷的机械性能	342
10.3.2 陶瓷的物理和化学性能	346
10.4 陶瓷材料加工	347
10.4.1 陶瓷表面金属化与封接(焊接)	347
10.4.2 陶瓷表面涂层	349
10.4.3 陶瓷的加工	354
参考文献	357

1 绪 论

1.1 材料发展概要

材料是人类用来制造各种产品的物质,是人类生产和生活的物质基础。人类社会的发展史表明,人类社会的发展伴随着材料的发明和发展,材料的发展推动着人类社会的进步,成为人类文明发展的里程碑。人类最早使用的材料是石头、兽皮等天然材料,其后发明了陶器、瓷器、青铜器和铁器。因此,历史学家将人类早期历史划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。现在人类已进入人工合成材料的新时代。金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等各类新材料得到迅速发展,材料和能源、信息一起成为现代科学技术的三大支柱,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。在材料发展的历史过程中,我们勤劳、智慧的祖先,创造了辉煌的成就,为人类文明、世界进步作出了巨大贡献。

1.1.1 石器时代

石器是人类最先使用的工具,一般是将石英石和燧石等天然石材打制成石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石锄和石球等石器作为工具使用。我国安徽繁昌县人字洞发现了众多的石制品和骨制品,估计距今约 200 万~240 万年,是目前欧亚大陆发现的最早的文化遗产。石器时代经历了 200 万~300 万年漫长的历史时期。

早在新石器时代,不仅打制的石器更加精美,还出现了玉器、陶器和瓷器。我国是玉器的故乡。河南安阳殷墟妇好墓出土的距今 3000 多年玉器就达 700 多件;1968 年河北满城中山王刘胜墓出土的“金缕玉衣”,是用 2498 块玉、1.1 kg 金丝串起来的,全长 1.88 m。随着火的使用,中华民族的先人们用粘土(主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3)烧制成陶器。在仰韶(河南)文化和龙山(山东、河南等)文化时期制陶技术已经发展到能在氧化性气氛的窑中(950°C)烧制红陶,在还原性炉气中(1050°C)烧制薄胎黑陶与白陶。在 3000 多年前的殷、周时期,发明了釉陶,炉窑温度提高到了 1200°C 。马家窑(甘肃)文化时期的陶器以砂质和泥质红陶为主,表面彩绘有条带纹、波纹和舞蹈纹等,制品有炊具、食具、盛储器皿等。被誉为“世界第八大奇迹”、在地下历经两千余年的秦王兵马俑所展示的庞大军队(图 1-1),是我国古代陶文化的奇葩。我国在东汉时期发明了瓷器(图 1-2),成为最早生产瓷器的国家。瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家,13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世

界文明产生了极大的影响。直到今天,中国瓷器仍畅销全球,享誉四海。

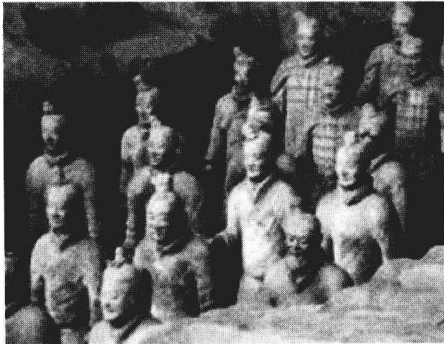


图 1-1 秦王兵马俑陶俑

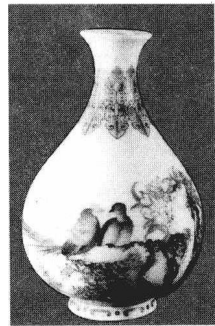


图 1-2 瓷器

1.1.2 青铜器时代

应该说,人类进入文明社会是以使用铜器、铁器等金属材料开始的。埃及、中国等文明古国都曾先后进入青铜器时代。早在公元前 4000 年,古埃及人便掌握了炼铜技术。先民们发现,在铜中加入锡,可使原来较软的铜制品变得更坚韧、更耐磨,于是出现了铜锡合金——青铜,这是人类历史上发明的第一种合金。我国青铜的冶炼始于公元前 2000 年(夏代早期),晚商和西周是我国青铜器时代的鼎盛时期。春秋战国时期《周礼·考工记》中记载了钟鼎、斧斤等六类青铜器中的锡含量,称为“六齐(剂)”。书中写道:“六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐。”这是世界上最早的关于青铜合金成分的文字记载,表明我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的密切关系。我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化,为我们留下了一批精美绝伦、震撼世界的杰作。从河南安阳晚商遗址出土的“司母戊”大方鼎重达 875 kg,外形尺寸为 1.33 m×0.78 m×1.10 m,是迄今世界上最古老的大型青铜器(图 1-3),其精湛的铸造技术令世人惊叹。从湖北江陵楚墓中出土的越王勾践的两把宝剑,长 0.557 m,宽 0.046 m,保存完好,金光闪闪,锋利异常,剑体满饰菱形花纹,是我国青铜器的杰作。从湖北随州市曾侯乙墓出土的战国青铜编钟,计 64 件、2500 余 kg,其音域之宽广堪与现代乐器媲美。另外,还有西安秦始皇陵墓陪葬坑出土的由 8 马 2 车 2 俑组成的质量达 1061 kg 的铜车马,四川广汉三星堆出土的高约 4 m 的青铜树、高 2.6 m 的青铜立人等。

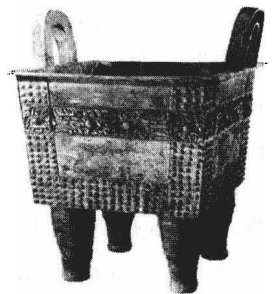


图 1-3 司母戊鼎

1.1.3 铁器时代

人类最早使用的铁是来自宇宙空间的陨石铁(又称自然铁,也叫陨铁)。陨石铁的主要成分是铁和镍,一般含铁镍量在98%以上,其中含镍量为4%~20%,余为铁,其他杂质元素含量很低,主要有钴、磷、硫和碳。古埃及在距今5000年以前,曾用含镍7.5%的陨石铁做成铁球。

从美索不达米亚出土的文物证明,在公元前3000年就有了铁器;在公元前2000年就知道了铸铁技艺。尽管如此,他们对铸铁的了解和应用,远不能与中国古代所掌握的铸铁技术和发展应用相比拟。我国从春秋战国时期(公元前770年到公元前221年)已开始大量使用铁器。质量达270 kg的铸铁刑鼎是公元前513年铸造的。春秋晚期出土的铁器有江苏六合程桥楚墓的铁丸、长沙楚墓的铁锛和铁鼎。战国时期已有韧性铸铁生产工艺。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模,说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的阶段。我国生产铸铁要比其他国家早许多个世纪。到了西汉时期,炼铁技术又有了很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,这要比欧洲早1700多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出20多座冶铁炉和锻炉。炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑,可见当年生产规模之壮观。我国的铁器冶炼技术在战国、秦、汉时期就不断向外传播,战国时期传到朝鲜,汉代时期传到日本。应该说,我国在铁器时代对人类作出了贡献。我国古代创造了三种炼钢方法,第一种是从矿石中直接炼出自然钢;第二种是西汉时期经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术,我国要比其他国家早1600多年。钢的热处理技术也达到了相当高的水平。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”一说,正确地说出了钢铁加热、水冷的淬火热处理工艺要点。《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的制剑技术。钢铁生产工具的发展,对生产力的发展和社会进步起了巨大的推动作用。

1.1.4 钢铁工业和有色金属的发展

铸铁的发展经历了5000年的漫长岁月,只是到了瓦特发明蒸汽机以后,由于在铁轨、铸铁管制造中的大量应用,才走上了工业发展的道路,而在此以前,铸铁只用来制作农具、兵器和祭器。

15世纪以后,欧洲的社会生产力有了长足的进步。15世纪初,炼铁高炉首先在欧洲迅速发展。到17世纪,已有高达9 m、日产铁1 t的高炉出现。炼钢技术则是在蒸汽机出现(1755年)、能够提供强大的鼓风和动力以后才得以发展的。1856年发明了酸性转炉炼钢;1864年发明了平炉炼钢;1879年发明了碱性转炉炼钢;1899年发明了电弧炉炼钢。由此,奠定了近代钢铁工业的基础。

19世纪后半叶钢铁工业得到了迅速的发展,这是由于当时欧洲社会生产力和科学技术的进步,对钢的生产提出了更高的要求;另外,各种炼钢方法的发明扩大了钢

的生产规模,并提高了钢材质量,特别是到了20世纪50年代,出现了氧气顶吹法炼钢技术,钢的生产发展更是突飞猛进。从20世纪50年代初至70年代末,全世界钢的年产量由2.1亿t增加到7.5亿t。

新中国成立以后,我国的钢铁冶炼技术有了突破性进展,目前钢产量已跃居世界首位。武汉长江大桥使用碳素结构钢A3(即Q235)钢制造,我国自行设计和建造的南京长江大桥则用强度较高的合金结构钢16Mn(即Q345)钢制造,九江长江大桥则用强度更高的合金结构钢15MnVN(即Q420)钢制造。我国的原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星的上天,都以材料的发展为坚实基础。

在钢铁材料发展的同时,有色金属也得到了发展。电解铝自1866年被发明以来,现已成为用量仅次于钢铁的金属。1910年用钠还原得到了纯钛,从而满足了航空工业的需求。核工业的需求促进了铀及其他核燃料的发展,而电子和半导体工业则促进了单晶硅等超纯材料的发展。

1.1.5 非金属材料的发展

非金属材料的发展历史也十分悠久,特别是进入20世纪后,取得了重大进展。首先应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于11世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于1470年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。中国丝绸名扬四海。人工合成高分子材料自20世纪20年代至今发展最快,其产量之大、应用之广可与钢铁材料相比。从20世纪60年代到70年代,有机合成材料每年以14%的速度增长,而金属材料的年增长率仅为4%。1970年世界合成高分子材料为4000万t,其中3000万t为塑料,橡胶产量为500余万t,表明已超过天然橡胶的产量;合成纤维产量为400万t,这和当年的天然纤维产量相当。1984年全世界合成高分子材料的产量已达1亿t。20世纪90年代初,塑料产量已逾1亿t,按体积计,已超过钢铁产量。高分子材料可以用作结构材料代替钢铁,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。

陶瓷材料除了前述的陶器、瓷器以外,近几十年的发展同样十分引人注目。陶瓷材料在冶金、建筑、化工以及尖端技术领域,已成为耐高温、耐腐蚀和各种功能材料的主要用材,如耐高温、耐腐蚀的氧化铝,将电信息转变为光信息的铈酸锂,用于切削刀具的氮化硅,具有高温超导性能的氧化钇等。另外,陶瓷材料的脆性和抗热震性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再局限于使用金属材料制造了。

1.1.6 复合材料及新材料技术的发展

随着航空、航天、电子、通信等技术以及机械、化工、能源等工业的发展,对材料的性能提出了越来越高的要求。传统的单一材料已不能满足使用要求,因而,复合材料的研究和应用引起了人们的广泛重视,如玻璃纤维树脂复合材料(即玻璃钢)、碳纤维

树脂复合材料等已在宇航和航空工业中用来制造卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮等,在交通运输工业中制造汽车车身、轻型船、艇等,在石油化工工业中制造耐酸、耐碱、耐油的容器、管道等。

近年来,我国在新材料的研究和材料加工新工艺的研究工作中取得了较为重大的成果,研制成功性能优越、用途广泛的新型结构钢;研制出零电阻温度为 128.7 K 的 Ti-Ca-Ba-Cu-O 超导体(铋系超导体);在 C60、碳纳米管等新型碳材料的研究方面取得许多新的成果,利用碳纳米管作为衬底,制备出均匀、致密的金刚石薄膜,并用碳纳米管作为晶须增强复合材料,制作纳米复合材料,已能制备出长度达 40 cm 的具有宏观尺度的碳纳米管长丝,以及面积达数百平方厘米量级的定向碳纳米管薄膜,并开展了碳纳米管在太阳能电池等能源领域应用的研究,取得了初步成果。材料快速成型技术和材料表面处理技术在我国得到迅速发展。激光表面淬火、激光熔覆技术已在汽车发动机缸套、凸轮轴、石油抽油管、纺织用锭杆等零件的表面强化上得到应用。物理气相沉积(PVD)和化学气相沉积(CVD)可制造出高硬度、高耐磨性的 TiN、TiC 等薄膜,用于耐磨零件和装饰件的表面处理。

1.2 材料应用现状

目前,用量最大的材料是钢铁材料和铝合金、铜合金、钛合金及镍合金等有色金属。在农业机械、电工设备、化工和纺织机械等机械制造业中,钢铁材料占 90%左右,有色金属约占 5%。有色金属中,铝及其合金用量最大,因其质量轻而大量用于飞机制造业,如波音 767 飞机的用材,铝合金占了 81%。

高分子材料(又称为高分子聚合物,简称高聚物)、陶瓷材料和复合材料在不同工业部门也得到一定的应用,有些部门则大量使用这些材料。工程塑料常用于计算机外壳、接线板、控制按钮、窗玻璃、化工管道、薄膜、容器和包装用品等;传统陶瓷主要用于建筑行业,而先进陶瓷材料则在高新技术领域得到应用,如用 SiO₂ 编织成陶瓷片作为热绝缘材料,覆盖了航天飞机机体表面的 70%,以保护机体不受损伤。复合材料尤其是金属基复合材料在航空航天部门得到了应用。

汽车工业是一个国家的支柱产业,现以汽车工业为例,简要说明各类材料应用的现状。汽车工业涉及 10 大类材料:钢板、特种钢、结构用塑料和复合材料、非结构用塑料和复合材料、橡胶、涂料、有色金属合金、铸件、陶瓷和玻璃、金属基复合材料。汽车用材以金属材料为主,塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料也占有一定的比例,但原材料的构成比例近年发生了较大的变化,如表 1-1 所示。

随着对汽车安全、节能和环保要求的提高,钢铁材料(尤其是生铁和普通钢材)的比例在下降,而有色金属(尤其是铝合金等轻金属)和非金属材料(尤其是塑料)的比例在增加。塑料在汽车上的应用自 20 世纪 60 年代已开始实用化。首先采用塑料件的是机械、热应力较小的汽车内饰件,以达到安全、舒适、美观的目的。内饰塑料制品