

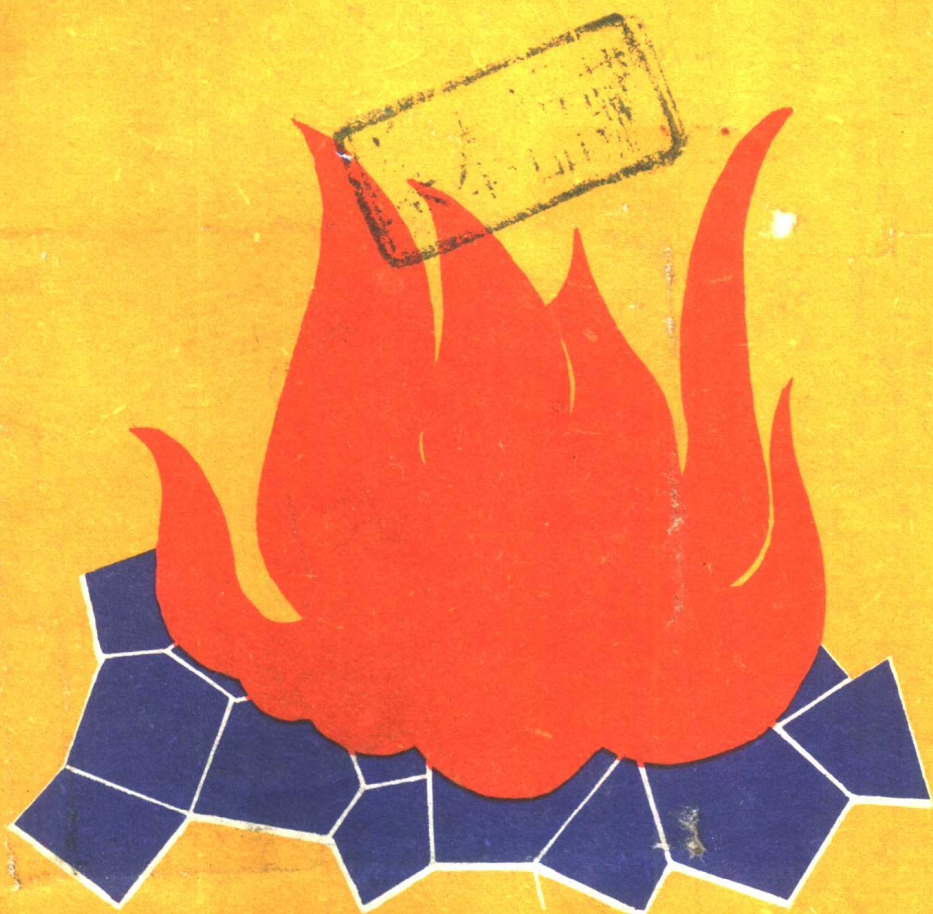
977641

高等学校教材

TG13
875A

铸造合金及其熔炼

主编 郑来苏



西北工业大学出版社

高等学校教材

铸造合金及其熔炼

郑来苏 主编

郑来苏 刘忠元 季玮 陈綵中 编写

西北工业大学出版社

1994年 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书内容包括金属材料的物理冶金基础、铸造有色合金(铸造铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、锌合金)、铸钢、铸造高温合金及各类合金的熔炼五部分。为加强理论基础,较同类教材增设了物理冶金有关原理及机械性能指标的物理涵义和技术意义。书中系统地论述各种铸造合金的强化机制,合金化原理,成分、组织与性能之间的关系,优化组织、性能的原理和技术,铸件热处理的原理及工艺规范,合金熔炼过程的物理化学特性,各种熔炼技术的冶金原理及工艺,获得高冶金质量合金的炉内炉外处理技术及其原理,冶金缺陷的形成及预防。

书中反映了国内有关科研成果和先进生产经验,并结合我国实际情况,吸收介绍国外的先进理论和技术。有关内容紧密结合新的国家标准,对 80 和 90 年代初次列入国标的重要合金,在同类教材中,本书首次作出必要的论述。

本书主要用作高等学校铸造专业的教材,并可供有关科研及工厂的工程技术人员参考。

高等学校教材
铸造合金及其熔炼

郑来苏 主编
责任编辑 刘 红
责任校对 格 昭

© 1994 西北工业大学出版社出版
(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)

陕西省新华书店发行
西北工业大学出版社印刷厂印装
ISBN 7-5612-0703-4/TG·25(课)

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:21.375 字数:510 千字
1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷
印数:1—1 500 册 定价:14.90 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

本教材是根据原航空航天部教材编审室于1991年审定的《铸造合金及其熔炼》教材编写大纲编写的。

和同类型的教材相比,本教材增设了铸造合金的物理冶金基础,既可使学生掌握这些理论,又使教材各章节有关的论述有充足的理论准备;同时还较详细地阐述了金属材料机械性能指标的涵义和技术意义,以加深对材料机械性能的理解。本教材系统地论述各种铸造有色合金(铸造铝、镁、铜及钛、锌合金)、铸钢和铸造高温合金的成分、组织和它们与性能的关系,以及各类合金材料的熔炼过程理论和生产工艺的基本知识。在内容上力求达到较强的理论性、先进性、系统性和实用性。围绕各种主要合金材料的成分设计、组织形成、性能特点及重要熔炼过程,重点地进行理论性论述,使读者能深入理解合金的组成、组织、性能及熔炼工艺的实质。鉴于当前社会主义市场经济的发展,贸易的需要,要求产品严格地遵守和符合统一的权威性标准,本教材在内容上严格遵循国家相应最新标准。对某些80~90年代首次进入国家标准的合金作了充分的论述。在编写中注意选择吸收近年国内外一些新的理论和生产技术,同时又注意调查引用工厂生产实际中的资料和技术,作到理论结合实际,又具有较好的实用性。

本书包括导论和十四章,前言、绪论、导论和第1~6章由西北工业大学郑来苏编写,第7章由南昌航空学院陈绿中编写,第8~10章由西北工业大学刘忠元编写,第11~14章由南昌航空学院季玮编写,全书由郑来苏主编。西安市铸造学会理事长、西安理工大学魏兵教授及袁森副教授对书稿进行全面审阅,提出许多宝贵的修改意见,对他们的辛勤劳动和卓越的学术意见表示衷心的感谢。全书大部分金相照片由薛玉芳工程师摄制,谨志谢忱。

本书主要供高等院校铸造专业师生使用,也可供铸造行业的科研人员及工程技术人员参考应用。

由于编者学识水平所限,书中难免会存在缺点和不足,恳请读者批评指正。

编 者

1994年1月

EAC57/04

目 录

绪 论	1
导论 铸造合金的物理冶金基础知识	6
第一节 金属材料机械性能指标的技术意义	6
一、塑性(伸长率 δ 、断面收缩率 ψ)	6
二、弹性模量(正弹性模量 E 、切弹性模量 G)	6
三、屈服点(σ_s)、屈服强度($\sigma_{0.2}$)	6
四、抗拉强度(σ_b)	7
五、硬度(布氏硬度 HB、洛氏硬度 HRC、维氏硬度 HV)	7
六、韧性(冲击功 A_{KV} 、 A_{KV} , 冲击韧性 a_{KV} 、 a_{KV})	8
七、疲劳极限(σ_{-1})	8
八、高温瞬时拉伸性能	9
九、高温持久强度(σ_T^T)、持久寿命(t_T^T)	10
十、高温蠕变极限	10
第二节 金属材料的强化机制	11
一、金属强度的基础性质——单晶体的强度	11
二、晶界强化	13
三、固溶强化	14
四、分散强化(质点强化、微粒或粒子强化)	16
五、形(应)变强化(加工硬化、位错强化)	22
六、复合强化(复杂强化)	23
七、强度与塑性的匹配	25
八、温度对机械性能影响的概论	25
第三节 铸造合金的性能类型及热处理状态	27
一、铸造合金的性能类型	27
二、铸造合金的热处理状态的意义及代号	27
思考题	28
导论主要参考文献	29

第一篇 铸造有色合金

第一章 铸造铝合金	31
第一节 铸造铝合金概论	31

一、铸造铝合金的特性及应用领域	31
二、铸铝合金的标准及分类	31
第二节 铸造铝硅类合金	38
一、铸造 Al-Si 系合金	38
二、Al-Si-Mg 系合金	45
三、Al-Si-Cu-Mg 系合金	49
四、Al-Si 类活塞合金	51
第三节 铝铜类合金	54
一、Al-Cu 二元合金	54
二、Al-Cu-Mn-Ti 系合金	58
三、Al-Cu-RE-Si 系合金	63
第四节 铝镁类及铝锌类合金	64
一、铝镁类合金	64
二、铝锌类合金	69
第五节 铸造铝合金的热处理	72
一、铸造铝合金热处理的目的和特点	72
二、铸造铝合金热处理工艺	72
三、铝合金铸件热处理设备的特点	72
四、几种常用铸铝合金热处理工艺特点	74
思考题	74
第二章 铸造镁合金	76
第一节 铸造镁合金概论	76
一、铸镁合金的特性及其应用	76
二、铸镁的合金化及分类	77
第二节 镁铝类合金	79
一、成分和杂质对组织和性能的影响	79
二、ZM5(ZMgAl8Zn)合金	82
三、ZM10(ZMgAl10Zn)合金	84
四、Mg-Al 类合金的孕育作用	84
第三节 镁锌类合金	85
一、Mg-Zn-Zr 系成分对组织性能的影响	85
二、ZM1(ZMgZn5Zr)合金	88
三、ZM2(ZMgZn4RE1Zr)合金	89
第四节 镁稀土类合金	90
一、稀土元素对镁的性能的影响	90
二、ZM3(ZMgRE3ZnZr)合金	92
三、ZM6(ZMgRE2ZnZr)合金	93
第五节 铸造镁合金的热处理	95

思考题	96
第三章 铸造铜、锌、钛合金	98
第一节 铸造铜合金概论	98
一、铸造铜合金的特性及其应用	98
二、铸铜的合金化及分类	99
第二节 铸造青铜	106
一、铸造二元锡青铜(Cu-Sn 系称锡青铜)	106
二、多元锡青铜	108
三、铸造铝青铜(Cu-Al 系称铝青铜)	110
四、铸造铅青铜(Cu-Pb 系称铅青铜)	114
第三节 铸造黄铜	115
一、Cu-Zn 二元系(称为普通黄铜)	116
二、铸造多元黄铜(称为特殊黄铜)	117
第四节 铜合金铸件的热处理	121
第五节 铸造锌合金	121
一、铸造锌合金的特性及分类	121
二、组元和杂质对组织、性能的影响	122
三、常用锌合金	122
第六节 铸造钛合金	123
一、铸造钛合金的特性及分类	123
二、 α 型钛合金	124
三、 $\alpha+\beta$ 型钛合金	128
四、 β 型钛合金	130
五、钛合金的铸造和热处理工艺特性	130
思考题	131

第二篇 铸造有色合金的熔炼

第四章 铸造铝合金熔炼	133
第一节 铝合金熔炼时的物理化学特性	133
一、铝-氧反应	133
二、铝-水气反应及铝-有机物反应	134
三、铝合金中的气体及氧化物夹杂	134
第二节 铝合金熔炼工艺原理和技术	136
一、铝合金的净化(精炼)	136
二、铸造铝合金的液态处理控制组织	144
三、炉料形态及合金元素和炉料的加入	149

第三节 铸造铝合金熔炼工艺	151
一、熔炼炉简介	151
二、铸造铝合金熔炼工艺	152
思考题	156
第五章 铸造镁合金熔炼	157
第一节 铸镁熔炼的物理化学及工艺特性	157
一、镁合金熔炼时的物理化学特性	157
二、铸造镁合金熔炼的工艺特性	158
第二节 铸镁合金熔炼工艺	165
一、铸镁合金熔炉简介	165
二、ZM5 镁合金的熔炼工艺	166
三、含锆镁合金的熔炼工艺	167
四、含稀土镁合金的熔炼工艺	169
五、熔镁时的安全技术	169
思考题	170
第六章 铸造铜合金、钛合金、锌合金的熔炼	171
第一节 铸铜熔炼时的物理化学特性及工艺原理	171
一、铸铜熔炼时的物理化学特性	171
二、铜合金熔炼工艺原理	174
第二节 铸造铜合金熔炼工艺	176
一、铸造锡青铜的熔炼工艺	176
二、铸造铝青铜的熔炼工艺	177
三、铸造黄铜的熔炼工艺要点	177
四、铸造铜合金熔炼质量的控制	178
第三节 铸造钛合金熔炼	178
一、铸钛合金熔炼时的物理化学特性	178
二、钛合金熔炼工艺	179
第四节 铸造锌合金的熔炼	182
思考题	183
第一、第二篇主要参考文献	183

第三篇 铸钢和铸造高温合金

第七章 铸造碳钢	185
第一节 概述	185
第二节 铸造碳钢的结晶组织及铸态组织缺陷	187

一、碳钢的结晶过程和组织	187
二、碳钢的铸态组织缺陷	187
第三节 铸造碳钢的机械性能及其影响因素	191
一、基本化学成分对碳钢性能的影响	191
二、结晶组织对钢的性能的影响	192
三、热处理对性能的影响	193
第四节 铸造碳钢的热工艺性能	193
一、铸造性能	193
二、焊接性能	196
思考题	197
第八章 铸造低合金钢	198
第一节 概述	198
第二节 锰系铸造低合金钢	198
一、锰钢	198
二、锰硅钢和锰钼钢	200
第三节 铬系铸造低合金钢	201
一、铬钢	202
二、铬镍钢	203
三、铬锰钢	204
四、铬锰硅钢	204
第四节 铸造特种用途低合金钢	205
一、低温用低合金钢	205
二、耐热用低合金钢	207
三、耐磨用低合金钢	208
第五节 铸造低合金钢的热工艺性能	209
一、铸造性能	209
二、热处理特点	210
三、焊接性能	210
第六节 稀土元素在铸钢中的应用	211
一、稀土元素在钢中的作用	211
二、稀土元素对钢的机械性能的影响	213
三、稀土元素对铸钢铸造性能的影响	214
思考题	215
第九章 铸造高合金钢	216
第一节 概述	216
第二节 铸造不锈钢	216
一、钢的电化学腐蚀及提高抗蚀性途径	217

二、奥氏体不锈钢	221
三、马氏体不锈钢	227
四、沉淀硬化马氏体不锈钢	229
第三节 铸造耐热钢	231
一、钢的氧化及提高钢的抗氧化性途径	231
二、铸造热稳定钢	234
三、铸造热强钢	236
第四节 其它铸造高合金钢	238
一、铸造耐磨钢(高锰钢)	238
二、铸造低温钢	240
三、铸造耐磨耐蚀钢	240
四、铸造工具钢	240
第五节 铸造高合金钢的铸造性能	241
一、铸造不锈钢的铸造性能	241
二、铸造耐热钢的铸造性能	242
三、铸造耐磨钢的铸造性能	242
思考题	242
第十章 铸造高温合金	243
第一节 概论	243
一、航空发动机对高温合金的要求	243
二、高温合金的发展	243
三、高温合金分类及牌号	249
第二节 高温合金的组成相	249
一、高温合金中的间隙相	249
二、高温合金中的金属间化合物	250
三、高温合金中第二相形成的基本因素	250
四、组成相对合金力学性能的影响	252
第三节 高温合金的强化原理	254
一、高温合金的强化基础	254
二、高温合金的固溶强化	255
三、高温合金的时效强化	258
四、高温合金晶界的强化	261
第四节 铸造高温合金	265
一、铁基高温合金	265
二、镍基高温合金	268
三、钴基高温合金	272
第五节 高温合金的定向凝固和单晶铸造	274
一、定向凝固的基本原理	274

二、定向凝固方法	275
三、定向凝固合金的性能	278
四、定向凝固合金和单晶合金	279
第六节 铸造高温合金的热工艺性能特点	281
一、铸造性能	281
二、热处理工艺特点	282
思考题	283
第三篇主要参考文献	283

第四篇 铸钢和铸造高温合金的熔炼

第十一章 三相炼钢电弧炉熔炼	285
第一节 概述	285
一、电弧炉炼钢特点	285
二、电弧炉的设备	285
第二节 碱性电弧炉氧化法熔炼	287
一、补炉和装料	287
二、熔化期	288
三、氧化期	288
四、还原期	290
第三节 电弧炉的其它熔炼方法	294
一、碱性电弧炉不氧化法熔炼	294
二、酸性电弧炉熔炼	295
思考题	297
第十二章 感应电炉熔炼	298
第一节 概述	298
第二节 感应电炉结构	299
一、高频电流设备	299
二、电容器	301
三、感应器(感应圈)	301
四、坩埚(炉衬)	301
第三节 感应电炉熔炼的基本工艺	302
一、坩埚制作	302
二、装料	303
三、熔化	303
四、氧化	303
五、脱氧	304

六、合金化	304
七、出钢浇注	304
第四节 感应电炉熔炼实例	305
一、配料	305
二、ZG35CrMnSi 的熔炼	307
三、K412 高温合金的熔炼	307
思考题	309
第十三章 真空感应电炉熔炼	310
第一节 真空感应炉熔炼原理	310
一、脱氧反应	310
二、去气作用	311
三、金属的蒸发	311
四、坩埚反应	312
第二节 真空感应熔炼设备	312
一、真空感应电炉	312
二、真空泵	314
三、真空计	315
四、真空检漏	315
第三节 真空感应熔炼基本工艺	316
一、坩埚制备、炉料准备和装料	316
二、熔化	316
三、精炼	316
四、合金化	317
五、浇注	317
第四节 真空熔炼对高温合金铸造性能和机械性能的影响	317
一、真空熔炼对高温合金铸造性能的影响	317
二、真空熔炼对高温合金机械性能的影响	317
思考题	318
第十四章 特种熔炼方法	320
第一节 电渣炉熔炼	320
一、电渣重熔	320
二、电渣熔铸	322
三、有衬电渣炉	322
第二节 氩氧脱碳法和真空氩氧脱碳法熔炼	323
一、氩氧脱碳法(简称 AOD 法)熔炼	323
二、真空氩氧脱碳法(简称 VOD 法)熔炼	324
第三节 等离子炉熔炼	324

第四节 真空自耗电极电弧炉熔炼.....	325
思考题.....	326
第四篇主要参考文献.....	327

绪 论

材料从来就是生产发展、社会进步的重要物质基础。历史上曾以材料来划分时代(石器、青铜、铁器时代等),当前人们又提出材料与能源、信息一起是现代文明的三大支柱。人类最早应用的非自然态的材料是铜,最早的金属加工方法就是铸造。科学技术的进步对材料提出新的更高要求,新材料的出现和原有材料的革新又促进了科学技术的进步和产业的发展。当前金属材料仍是社会生产中最主要最重要的原材料,在结构材料中金属占80%以上,其中铸造合金占很大的比重。

机械制造工业为工业、农业、交通运输、第三产业及文化科学事业等各部门提供各式各样的机械设备、仪器仪表,是国民经济的重要基础之一。在各类机械、仪器中,应用着各种合金材料制成的大量结构件及功能器件,而铸件在其中占有最大的份额。在航空及宇航工业中铸件占的比重虽不那么大,但性能质量之高,工艺技术之精良是其它部门无可比拟的。

历史上最早应用的金属是铜,最早的合金是青铜,这是由于铜、锡、铅等的化学活性很小,极易被还原。我国的青铜冶铸开始于夏代(公元前2140~1711年),其早为世界之最。殷商代进入历史上的青铜时代,炼铜技术发展很快,所使用的武器、酒食具、祭祀器、工具等都是用青铜铸造的。这些器具不仅以复杂的造型、精美的花纹和雕镂,显示出我们祖先的精湛艺术和技术才能,更主要的是青铜材料和制造技术代表一种新的生产力登上历史舞台,有力地促进了社会的发展。当时铸造出考古上有名的重875 kg,带耳全高1370 mm的司母戊大方鼎及有重大文化意义的大铜鼓等精美铜器。延至周代青铜冶铸很发达,目前全国各地许多博物馆都收藏有大量出土的商周时代青铜器件。战国时编著的《考工记》即已总结出青铜的成分、性能与用途的科学关系。“金有六齐: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,谓之凿燧之齐。”这说明经验已上升为理论,合金化理论及冶铸技术已很高明。其后青铜器的铸造在我国连绵不断,特技迭出。秦俑坑铜车马重约1.2 t,由3000多零件组装而成,形态复杂,艺术精美。奇者如战国曾侯乙编钟65件,音色齐备,音质浑厚,能撞击出优美的旋律。汉代还有鱼洗盆,边壁厚仅2 mm,盆口最大直径为390 mm,包括提耳高160 mm,盆底有精美四鱼图案,为失蜡法铸造而成。当轻轻搓揉双提耳时,铜盆微颤,盆中之水似沿盆底鱼唇喷吐,向上飞扬,水珠喷达约700 mm,且伴有嗡嗡铜钟声,具有奇妙的流体力学和声学效应。西汉还有铸铜的透光镜,在日光照射下,镜面的反射光照在墙壁上,竟能把镜背面的花纹、图案、文字清晰地显现出来,国际冶金界誉为魔镜。大者如现存北京西郊大钟寺内的钟王,铸于明朝永乐年间,至今已有500多年历史。大钟通高6.94 m,钟口直径3.3 m,钟唇厚0.22 m,重约42 t,是青铜用无模铸造法一次铸成。钟身内外铸满了22.7万多字楷书佛经。钟声的声强级可达120多dB,振动频率极为丰富,最低音频率为22 Hz,最高音频率在800 Hz以上,主要频率集中在400 Hz以下。钟声可传四五十公里。黄铜出现较晚,但我国仍是使用最早的国家,南北朝的炼丹术士已能用炉甘石(碳酸锌矿石)炼出黄铜。建于公元1416年的武当山金殿,通高5.5 m,宽5.8 m,

深 4.2 m。从屋顶、门窗、梁柱、菩萨到香案供桌全部用黄铜铸造，结构件数量繁多，用榫卯拼接而成。至今仍是武当山著名景观。该金殿与永乐大钟制成于同一时代，反映出明朝高度发达的冶铸业。数十吨的大型铜铸件，就是现在来铸造也非易事。可见我国的冶铸技术久盛不衰，不过因其藏之民间，不为士大夫所重视，未用文字总结积累，故易于失传。

铸铁由于熔点较高而出现较晚。我国也是铸铁的发源地。早在公元前 513 年春秋时期，晋国就已铸成了铸有刑书文字的大铁鼎，称为铸刑鼎，这是我国关于铸铁技术的最早记载。可以想见在古代技术发展缓慢的条件下，铸铁的最早出现和应用当在这之前若干个世纪。1953 年河北兴隆县战国时代燕国冶铁遗址出土大批铁范（即金属型），其中主要是铸造铸铁生产工具的锄范、双镰范、镰范、斧范等，这标志着铸铁冶炼及铸造工艺已达到高超的水平，也说明生产力的重大发展。在欧洲直至 13~14 世纪之交才出现生铁，这比我国晚了 1900 多年。钢最早发源于欧洲，由于钢的熔点更高，熔炼问题较难解决，直至 19 世纪下半叶才有真正工业意义的炼钢，而铸钢件的生产则在 20 世纪初才面世。

铝的化学性极活泼，很难用火法从矿石中提炼。虽然在 1827 年首次制得铝，但直到 1886 年美法两国发现以电解方法制备铝后，才可能成为实用的金属。20 世纪初铝合金才开始在工业上应用。镁在 1808 年首次被提取出来。本世纪初，比空气重的飞机的发明，引起了对一切轻的结构材料的注意，继铝之后镁在 20 年代末在工业上得到应用。钛是在 1825 年第一次得到了一个不纯的样品，以后一直没有进行任何生产，到 1937 年才研究出镁热法制钛的具有工业意义的方法。1948 年美国在世界上首批生产了 3 t 海绵钛，到 50 年代钛才真正成为一种结构金属，首先应用于航空工业。高温合金是适应航空涡轮发动机的设计研制而出现的。镍基高温合金由镍铬电阻合金 (Ni80Cr20) 发展而来，英美等国都开始于 30 年代末期。英国于 1941 年生产了加入少量碳和钛的 Nimonic75 合金。到目前各国有数以百计的高温合金牌号面世。

二次世界大战后，材料科学获得迅猛的发展，适应新兴学科的新材料层出不穷。以结构材料而论，传统的钢铁也有很大的提高，目前出现的经热处理强化的超高强度钢 σ_s 可达 2 100 MPa 以上，实用高强韧性铸钢 σ_s 也达 1 100 MPa。轻合金铝、镁、钛等的“轻”这一特性，使它最适用于对减轻结构重量有紧迫要求的技术领域，如航空及宇航业，而这些领域在近 40 年中又大大促进了合金的发展。高温合金更完全是受航空涡轮发动机发展的催动。

目前在金属材料中世界钢铁产量约占 90%，铝居第二位，铜第三。大多数国家中铝的主要应用领域是：建筑与结构、容器和包装、运输、电力工业。在交通运输制造业中（如航空工业、汽车工业、高速列车等）得到最快的发展。当今世界上产量增长最快的两种材料是铝和塑料。塑料具有很多优点，应用领域日益扩展，但致命的弱点是结构用塑料不能回用，塑料本身无法在自然环境的循环中被完全分解吸收，只会风化破碎，其化学成分不变，它的不断积累将导致生态环境的恶化。而铝可回收和再生，氧化后对生态环境无损害。铝在传统应用领域航空宇航工业中仍维持高的份额，在汽车工业中的应用则迅速发展，其结果将导致汽车设计、生产技术及能源消耗等方面发生重大变化。1977 年美国产小汽车每辆耗铝 45.4 kg，到 1989 年增至 71.28kg。1987 年美国在卡车和小汽车上耗铝 109 万 t（其中小汽车占 81.7 万 t），占美国当年耗铝量的 15.7%。90 年代初日本小汽车平均每辆用铝 60.65kg，少数豪华型每辆用铝达 100 kg。铝已广泛用于制造壳体、散热片、轮毂、车架、缸体、缸盖等。美国铝业公司于 1989 年起小批量供应铝制汽车车身构架，采用特种压铸技术，将车架压铸成一个整体，组成构架的零件从原 400 个减少到 75 个，比钢车架减轻 30% 以上。由于较多采用铝合金使汽车自重减轻，行驶

耗能大大减少。发达国家汽车制造都存在这种趋势。

镁的产量目前约一半用于航空宇航工业。汽车向轻型化发展的趋势使人们开始重视扩大镁在汽车中的应用。美国1987年曾展出世界第一台赛车用的镁发动机,比铸铁缸体发动机轻43.1 kg,使用这种发动机的赛车已在1988年服役。与钢汽车轮毂比较,镁车轮毂的重量可大大减轻,比铝轮毂还轻33%。过去由于镁车轮存在腐蚀问题,未能推广。日本采用真空压铸技术,使镁车轮中的杂质减少,并在表面覆以优良的防蚀涂层,使抗蚀性提高10倍。镁在汽车中的应用将迅速扩大,尽管目前每辆汽车平均耗镁仅0.454 kg,但潜在的用量可达100倍。镁将用来制造轮毂、离合器、齿轮箱体、缸体、缸盖等。与别的金属不同,目前镁约85%用于铸造合金。

钛合金的突出特点是高的比强度及高抗蚀性,其比强度高于现用其它结构金属,并且这一优点可以一直保持到500℃左右,这使得某些钛合金普遍用于关键性的燃气轮机部件。钛产量近80%用于航空宇航工业,其余主要用于化学类工业。预计本世纪末钛将成为产量排在铁、铝、铜之后的第四位金属结构材料。

当前结构材料的发展人们仍在追求更高比强度比模量。铍具有某些突出的特性:密度小(1.85 g/cm^3),仅比镁稍高;而弹性模量很高为铝的4倍多,其比模量比其它结构材料几乎高一个数量级;熔点(1277°C)比较高,热物理性质较铜好约6倍;中子俘获截面比任何其它金属都低。这些特性引起航空宇航业及核工业对它的强烈兴趣。虽然各国对铍已进行了很多研究,但作结构材料仍极少使用,这主要是由于它的成本很高,常温塑性低,以及它的化合物剧毒。但铍已用于原子反应堆中作中子减速剂和反射剂,以及反应堆的燃料元件罐。锂是密度(0.53 g/cm^3)最小的金属,因其化学性太活泼,无法作成结构基体材料。但作为合金元素强化铝、镁合金则显示出巨大的优越性。Al-Li合金由于密度减小,比强度增大,目前国外变形合金已有商品牌号供应,如美国2020合金即含 $1.3 \times 10^{-3} \text{ Li}$,其弹性模量比其余铝合金要高10%,主要用于飞机结构件。Al-Li铸造合金也有少量应用。国内航空材料科研部门正研制试验中。Mg-Li合金是最小密度的结构金属材料,例如美国LA141(Mg-14Li-1Al)合金,其密度仅 1.35 g/cm^3 ,具有很高的仅次于铍的比模量,它的塑性大,是可焊接的,作成薄板和厚板,已应用于航空宇航的部件上。

材料的最新发展是复合材料。三大类材料都有它们的弱点:金属材料大多不耐腐蚀或者密度嫌大;无机非金属材料性脆;合成高分子材料不耐高温。把两种或更多种材料按一定方法结合起来,使它们相互取长补短,制成兼有几种优良性能的新材料,并且由于协同效应还具有原组分所不具备的性能,这就叫复合材料。复合材料可分为结构复合材料和功能复合材料。复合材料是由基体材料和增强(优化)材料复合而成。基体材料通常由合成树脂、金属、陶瓷担当;增强材料有玻璃纤维、碳和石墨纤维、硼纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维等。目前树脂基复合材料已有一定规模的应用,但存在着低导热、高热膨胀、尺寸不稳定,以及潮热下变质,不耐高温和低温发脆等弱点,应用领域受限制。因此金属基复合材料日益受到重视。在发达国家金属基复合材料不仅用于航空宇航等高新技术,而且在汽车、船舶、电子、电工及机械等工业中日益显示出应用的潜力。金属基复合材料又可分为纤维优化和颗粒优化两大类,基体目前以铝为主。制造方法开初为层叠板的真空热压成形法,如将铝薄板与碳纤维交替叠放抽真空后,加热加压使之结合成整体。这种方法只宜制造形状简单的板材、型材等。目前又发展了液态浸渗法即铸造的方法,可制造形状复杂的零件。由于复合材料的高成本,故

它不仅只适宜用在关键零件上，而且只用在某一零件的关键部位上。同一零件不同部位往往受力、受热、受磨和受腐蚀情况不同，目前越来越多地采用各种形式的复合结构，来满足这种不同的要求。例如美国日本都在大力开发用液态金属挤压法制造局部（顶部、上环部）用氧化铝或硅酸铝短纤维增强的汽车发动机铝活塞，局部增强处的耐磨、耐热性大为提高，使活塞寿命和发动机的功率明显提高。这种复合材料还可用作刹车材料，磨损与现用灰铸铁相近，但摩擦系数约高一倍。颗粒优化复合材料工艺较简单，成本低，用一般设备即可制成铸件，很可能成为一种通用铸造材料。综上所述可知，科学技术的发展与材料的发现发明是互相促进、互相依存的辩证发展关系。

历史发展到现在，长期的科研和生产实践，积累了各金属类别的很多品种和牌号的铸造合金，它们的机械、物理、化学性能及熔炼和热工艺性能是各不相同的。为了学生从事铸造生产或科研能应用和改进现有合金，并研究开发新的合金材料，对主要铸造合金的合金化原理、材料的组织、服役性能和工艺性能及影响机制、合金熔炼等各方面的理论和实际知识，应有较系统的全面了解和掌握。本教材即为满足这种需要而编写的。教材内容包括：物理冶金基础、铸造有色合金、铸钢、铸造高温合金及它们的熔炼五部分。关于铸铁，由于本专业教学计划中被列为限定选修课，故不包括在本教材中。在本课程之前，本专业开设的先修课程为“金属学及热处理”、“铸件形成原理”、“冶金过程原理”等。编者在长期从事教学的实践中，深深感到铸造专业的学生缺乏物理冶金必要的较系统的理论知识，有些原理几乎在各类合金中零碎的提到，例如某些强化机理等多次作低层次的重复，学生既费时间又没有深入地系统掌握；又如对材料的机械性能除 σ_s 、 δ 较为熟悉外，对其余各项性能指标的内涵、作用和表示方法皆感陌生。而这些内容都是学生所必须具备的知识。之所以造成这种现象，由上列先修课程可知是在整个专业教育中缺少了这一方面的内容。因此在本教材中加强这方面的内容是恰当的必要的，这就是导论的由来。在目前社会主义市场经济的发展中，具有法规性的标准化日益显现其重要性，故本教材有关部分的内容紧密结合新的国家标准。对80年代和90年代首次进入国标的先进重要合金如ZL205、ZM6、ZM10、ZCuAl8Mn13Fe3Ni2以及新进航标的ZL117等，都是在同类教科书中首次作出必要的论述。对比新旧国标中有较大修改的牌号也作了说明，便于参阅现有技术文献，并在生产中应用时作必要的调整。这也是本书的又一特色。

本书采用国家法定计量单位制及其符号，全面贯彻国标“GB3100~3102—86量和单位”的内容要求。其中应加以说明的是合金成分表示法，原为重量百分数，单位为%，现已由法定的量“质量分数、符号为 w ”所取代， w 是无量纲的量。对无量纲量的单位，除SI单位制已给出专门名称外，其一贯性单位均为数字1。故质量分数的一贯性单位是1，其常用分数单位为 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-6} 等，因而原来非法定的单位“%符号”、“ppm”在合金成分中已不能再使用。为了使质量分数的数值符合原来的习惯，有的教科书采用 $w \times 100$ 的办法，甚至有时质量分数的单位仍用%符号，这不够妥当。正确的方法是使用单位“ 10^{-2} ”。书中伸长率也是如此。还有关于有色金属的名称，曾一度改为非铁金属，但根据国标GB8063的最新规定，仍称有色金属。

本课程是一门专业技术课，它在培养铸造专业人才的全局中有着重要作用，在铸造专业的技术知识结构中，与铸造工艺、铸造设备仪表鼎足而立，是非常重要的一个支柱。本教材的任务是在先修课程的理论知识的基础上，分析论述各类重要铸造合金的强化机制、合金化