

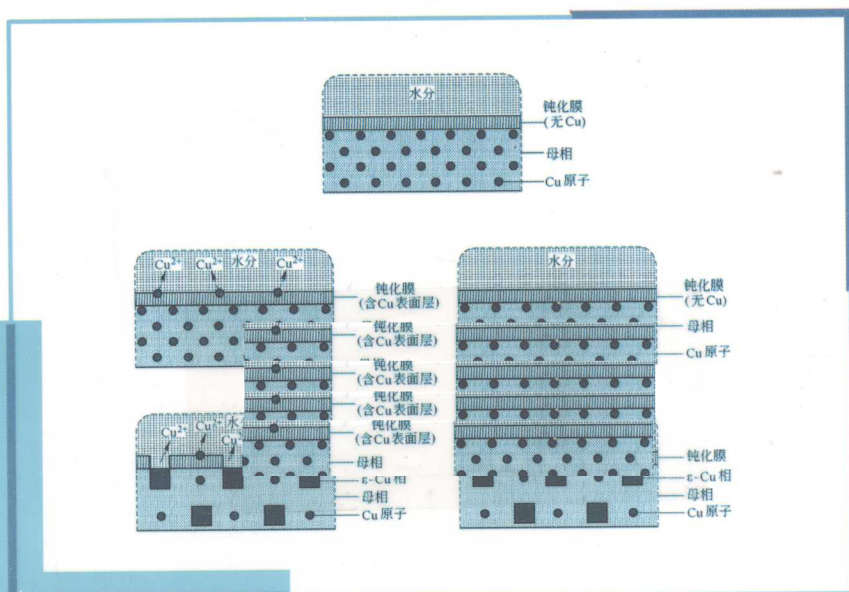


特殊钢 丛书

Special Steel Book Series

钢铁结构材料的功能化

赵先存 杨志勇 宋为顺 梁剑雄 等编著



冶金工业出版社

Metallurgical Industry Press

特 殊 钢 丛 书

钢铁结构材料的功能化

赵先存 杨志勇 宋为顺 梁剑雄 等编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 简 介

本书是国内、外第一部较为系统介绍钢铁结构材料功能化的技术专著,内容涉及钢铁材料的磁性功能、电性功能、声学功能、热学功能、化学功能、生物医学功能、核功能与特殊力学功能等方面,也涉及一些钢铁功能材料的结构化问题。

本书可供冶金、机械、航空、航天、造船、建筑、化工等领域从事钢铁结构材料与金属功能材料研究、开发、设计与生产、应用的科研人员、工程技术人员阅读,也可供大专院校材料科学与工程等专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁结构材料的功能化/赵先存等编著. —北京:冶金工业出版社,2010. 8

(特殊钢丛书)

ISBN 978-7-5024-5177-6

I. ①钢… II. ①赵… III. ①钢—结构材料:功能材料
②铁—结构材料:功能材料 IV. ①TG142. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 053141 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

策划编辑 杨传福 张 卫

责任编辑 王雪涛 美术编辑 李 新 版式设计 张 青 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5177-6

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 8 月第 1 版,2010 年 8 月第 1 次印刷

169mm×239mm;45 印张;874 千字;696 页

139.00 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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《特殊钢丛书》序言

特殊钢是众多工业领域必不可少的关键材料,是钢铁材料中的高技术含量产品,在国民经济中占有极其重要的地位。特殊钢材占钢材总量比重、特殊钢产品结构、特殊钢质量水平和特殊钢应用等指标是反映一个国家钢铁工业发展水平的重要标志。近年来,在我国社会和经济快速健康发展的带动下,我国特殊钢工业生产和产品市场发展迅速,特殊钢生产装备和工艺技术不断提高,特殊钢产量和产品质量持续提高,基本满足了国内市场的需求。

目前,中国经济已进入重工业加速发展的工业化中期阶段,我国特殊钢工业既面临空前的发展机遇,又受到严峻的挑战。在机遇方面,随着固定资产投资和汽车、能源、化工、装备制造和武器装备等主导产业的高速增长,全社会对特殊钢产品的需求将在相当长时间内保持在较高水平上。在挑战方面,随着工业结构的提升、产品高级化,特殊钢工业面临着用户对产品品种、质量、交货时间、技术服务等更高要求的挑战,同时还在资源、能源、交通运输短缺等方面需应对日趋激烈的国内外竞争的挑战。为了迎接这些挑战,抓住难得发展机遇,特殊钢企业应注重提高企业核心竞争力以及在资源、环境方面的可持续发展。它们主要表现在特殊钢产品的质量提高、成本降低、资源节约型新产品研发等方面。伴随着市场需求增长、化学冶金学和物理金属学发展、冶金生产工艺优化与技术进步,特殊钢工业也必将日新月异。

从20世纪70年代世界第一次石油危机以来,工业化国家的特殊钢生产、产品开发和工艺技术持续进步,已基本满足世界市场需求、资源节约和环境保护等要求。近年来,在国家的大力支持下,我国科研院所、高校和企业的研发人员承担了多项国家科技项目工作,在特殊钢的基础理论、工艺技术、产品应用等方面也取得了显著成绩,特别是近20年来各特钢企业的装备更新和技术改造促进了特殊钢行业进步。为了反映特

殊钢技术方面的进展,中国金属学会特殊钢分会、先进钢铁材料技术国家工程研究中心和冶金工业出版社共同发起,并由先进钢铁材料技术国家工程研究中心和中国金属学会特殊钢分会负责组织编写了新的《特殊钢丛书》,它是已有的由中国金属学会特殊钢分会组织编写《特殊钢丛书》的继续。由国内学识渊博的学者和生产经验丰富的专家组成编辑委员会,指导丛书的选题、编写和出版工作。丛书编委会将组织特殊钢领域的学者和专家撰写人们关注的特殊钢各领域的技术进展情况。我们相信本套丛书能够在推动特殊钢的研究、生产和应用等方面发挥积极作用。本套丛书的出版可以为钢铁材料生产和使用部门的技术人员提供特殊钢生产和使用的技术基础,也可为相关大专院校师生提供教学参考。本套丛书将分卷撰写,陆续出版。丛书中可能会存在一些疏漏和不足之处,欢迎广大读者批评指正。

《特殊钢丛书》编委会主编
中国工程院院长

徐匡迪

2008 年夏

前 言

钢铁材料作为 21 世纪的首选材料已经成为人们的共识,然而钢铁材料既是传统材料又是新型材料,既是结构材料又是功能材料的观点还远未被所有人所认同。

实际上,目前人们所使用的大部分钢铁材料,在 10 年前还不能生产。相信采用现有的固体物理理论、材料科学与工程、计算科学等最新研究成果,以及利用高新制备工艺技术与应用材料理化测试评价新技术等,接近钢铁材料理论强度、使用寿命成几倍提高的先进钢铁材料会逐步实现。

目前,国外钢铁材料的发展趋向可以简要地概括为以下六个方面。

(1) 钢铁材料性能的超级化。最大限度地挖掘钢铁材料的极限性能,是钢铁材料的重要发展趋势,例如研发强度与使用寿命分别提高 1~4 倍的超级钢铁结构材料、超纯、超细组织与高合金化的超级不锈钢,不需合金化的不锈钢、超级耐热钢与超级工模具钢等。

(2) 钢铁材料的复合化。特别是开发那些与钢铁材料竞争非常激烈的高比强、高耐蚀、高耐磨的金属材料、工程塑料与陶瓷材料复合的新型复合材料,以便充分发挥各自的优点,克服各自的缺点与不足。

(3) 钢铁结构材料的功能化。钢铁结构材料的功能化不仅可以弥补某些金属功能材料强韧性不足难以制造大型承力结构功能件的问题,而且还可以解决某些金属功能材料由于受非铁金属资源稀缺与价格昂贵的限制,解决尽管其功能性优异而难以大量推广应用的矛盾。

(4) 钢铁材料的环境协调化。当合金设计时,在追求钢铁材料具有优异的制造性能与服役性能的同时,还应该赋予材料以良好的环境协调性,决不允许以增加环境负担为代价来提高钢铁材料的性能。

(5) 钢铁材料的设计与性能预报的计算机化。根据现代材料科学的理论和实践,在微观、介观和宏观不同尺度上,采用不同方法对钢铁材料的成分、工艺、组织、结构与性能进行设计和预报,特别是按指定性能

设计钢铁材料的成分与工艺是人们长期梦寐以求的战略目标。

(6) 钢铁材料制备工艺的高技术化与环境友好化。单纯依靠合金化研发钢铁材料新品种的观点正在逐渐过时,把合金化(含多元微合金化)和制备工艺高技术化与环境协调化结合起来,研究开发超高洁净度、超高均匀性、超细组织与超高精度和表面质量的先进钢铁材料,是今后重要的发展趋势。

编写本书的目的,其一是根据钢铁结构材料功能化的发展趋势,对从事钢铁结构材料研发的人员进行金属功能材料基本知识的普及,使之了解钢铁结构材料与金属功能材料的渊源、异同与相关性;了解钢铁材料既包括结构材料,又包括功能材料;钢铁材料不但是 21 世纪首选、关键的金属结构材料,而且也是经济适用、可循环使用、环境友好、量大面广、具有潜在研发、应用前景的钢铁结构-功能一体化材料,它是新一代先进钢铁材料的重要组成部分。

编写本书的目的,其二是在今后进行钢铁材料强韧性研究的同时,对其相关功能性也应该予以关注,进行必要的研究,至少是探索性研究。

编写本书的目的,其三是在于用大量的国外的文献资料 and 我们的实际研究成果来证实钢铁结构材料功能化不仅仅是发展趋势,而且部分也正在逐步实用化,正处在逐步发展过程中,即处在不断地提出问题、解决问题的阶段。

现有的有关金属功能材料专著,除对电工钢等为代表的钢铁功能材料有深入的论述外,在对诸如形状记忆合金、防振合金、永磁合金、储氢合金等领域的钢铁功能材料的阐述中,或因其性能不尽如人意,或因其尚属探索性研究而距实用化较远,或因受篇幅所限等诸多原因而对其发展现状、存在技术问题,特别是一些值得重视的新思维、新现象、新苗头没有展开研讨与评述,而诸如此类问题正好是本书论述的重点。应该说,本书是对以往出版的有关金属功能技术专著的一些完善和补充。

众所周知,尽管现有某些钢铁功能材料的性能与已知金属功能材料相比性能还不尽如人意,更不够理想,甚至距实用化尚有较大距离,凡此等等有可能与钢铁功能材料的本性(质)有关,也有可能与对研究工作的广度与深度有关,即对其规律了解、掌握的程度有关,但是如果本书所涉及的有关钢铁功能材料存在的问题能够引起材料界的关注和兴趣,就有

可能改进现有材料的性能,就有可能出现更多性能更加优异的钢铁功能材料。如果这些价格相对便宜、性能略为逊色的钢铁功能材料能够在性能要求不大苛刻而用量要求很大的特定场合部分代替某些资源奇缺、价格昂贵属于战略资源的非铁金属功能材料,那必将具有重要政治意义和潜在巨大的经济效益。

实践表明,金属材料分成结构材料与功能材料两个分支学科进行研究,这促进了金属材料学科的高速发展与进步。但是事物总是一分为二的,两个分支学科长期分开进行研究,由于缺乏必要有效的沟通与交流机制因而也带来一些问题,最明显的问题是从事结构材料研究的人员以力学性能研究为重点而忽视功能性的研究,而从事功能材料研究的人员以功能性研究为重点而对材料的力学性能,特别是对大型承力功能结构件的力学性能和工艺制造性能重视不够。

钢铁结构材料功能化(或者说钢铁结构-功能一体化材料)与金属功能材料的结构化是金属材料科学在今后相当长时期内发展趋势之一。结构材料与功能材料学科间的相互交叉,相互渗透与借鉴,有利于相互促进与共同发展,这是学科发展的方向与推动力。这里并不存在结构材料代替功能材料的问题,也不存在功能材料代替结构材料的问题,而只会带来两个学科相互促进,实现跨越式发展,出现双赢的新局面。

钢铁研究总院结构材料研究所(前身为钢铁研究总院合金钢研究室(部))自1958年建所开始就把科研的重点放在新型钢铁结构材料的研究上。但是,一来是结构材料与功能材料之间两者并无严格的界限;二来是由于钢铁结构材料的功能化发展趋势,自建所至今,所里的科研一直进行着某些金属功能材料,特别是钢铁功能材料的研究,如无磁结构钢、不锈钢与高强不锈钢,无磁耐蚀镍基合金,无磁工模钢与高温高真空抗磁耐蚀轴承合金,软磁铁素体、马氏体与马氏体时效不锈钢,磁极钢与磁轭钢,电热钢与电热合金,核功能用结构钢、不锈钢、高强不锈钢与耐蚀合金,弹簧钢、不锈弹簧钢、马氏体时效钢与超高强度不锈弹簧钢,超高强度恒弹性不锈钢与高弹性合金,低膨胀高强度不锈钢和低膨胀合金,黑色金属阻尼材料以及生物体用不锈钢,等等。而且从事钢铁功能材料研究人员众多,例如刘嘉禾、孙珍宝、吴宝榕、陆士英、康喜范、杨长强、翁宇庆、李荣、林师炎、易邦旺、赵英伟、红野、褚翰林、魏果能、陈再

枝、祖荣祥、程世长、刘正东、苏杰、陈嘉砚、杨钢、宋志刚、荣凡、郎宇平、彭云先生等等,当然本书的编著者也是他们中的成员。

本书编著者,在20世纪60年代,进行了核能材料用无磁耐蚀镍基合金的研究;70年代,进行了核级奥氏体沉淀硬化不锈钢、瞬时高温弹簧不锈钢、高强不锈钢弹簧钢的研究;80~90年代,进行了高强度恒弹性不锈钢、磁极钢与磁轭钢的研究;21世纪初至今,仍进行着大尺寸铁素体与马氏体软磁不锈钢棒材的研究。

应当指出,20世纪70~90年代原冶金工业部军工办高杰司长等组织领导的“冶金新材料中长期科技发展规划”(包括合金钢与低合金钢、不锈钢与耐热钢、精密合金、高温合金、难熔合金、钛与钛合金等十多个专业组)为本书编著者关注、学习、了解、介入金属功能材料的研究,以及参与“冶金新材料中长期科技发展规划”的制定提供了一个技术交流的平台和契机。本书编著者曾多次聆听国内金属功能材料知名专家柯成,杜毓铨、吕其春、何忠治、王新林、朱鉴清、王国钧、董学智等先生所做的学术报告,从而学习到一些金属功能材料的基本知识并引发对金属功能材料兴趣与研究,但毕竟不是这方面的专家,这就注定了本书涉及的金属功能材料的基础性理论,生产工艺技术与材料检测技术等方面的内容较为单薄,不足之处,在此殷切希望有关专家、读者指正。

本书编写之前,特别是在编写过程中,《金属功能材料》杂志的首届与第二届主编李尚义与王新林以及副主编杨树森、耿文范与周少雄、李俊义、李波、杜挽生、李耀天先生无偿提供了十多年的期刊,并给予了大力的协助与指导,在此编著者对他们表示衷心的感谢;同时,对在杂志上以笔名(或者是名字)金延、晓敏、长征、启明、零通、小松头、老松头、寅青、亦惟、温汉、光明、大庆、国文、彦卿、辰祖、冶情、桤贫道、韶光、平、林等先生发表摘要或编写金属功能材料动态所做的工作表示衷心的感谢,他们辛勤的劳动成果为本书的编写提供了大量有价值的信息资料。

同时,编著者特别感谢以钢铁研究总院副院长兼结构材料研究所所长董瀚教授为首的所领导在本书的编写和出版的过程中所给予的关心、鼓励、支持和帮助,感谢先进钢铁材料技术国家工程研究中心的领导、《特殊钢丛书》编辑委员会的主编、编审和编委同志们为本书的编写所提供人力和财力的大力支援。

编著者还要感谢钢铁研究总院结构所高强不锈钢研究室李文辉、刘振宝、孙永庆及科技信息室刘骁先生、富莉和贾安娜女士在资料收集方面的大力协助。

谨以此书,奉献给所有从事钢铁结构材料与金属功能材料的研究、开发、生产、设计、制造和使用部门的同事们!

编著者

2009 年 12 月于中国钢研科技集团公司钢铁研究总院

目 录

1 概论	1
1.1 钢铁结构材料的现状与发展趋向	2
1.1.1 钢铁结构材料的现状	2
1.1.2 钢铁结构材料的发展趋向	9
1.2 金属功能材料的现状与发展趋向	18
1.2.1 金属功能材料的现状	20
1.2.2 金属功能材料的发展趋向	27
1.3 钢铁结构材料的功能化	32
1.3.1 钢铁结构-功能一体化材料的特点	32
1.3.2 钢铁结构-功能一体化材料发展的理论基础	33
1.3.3 钢铁结构-功能一体化材料具有广阔的研发和应用前景	36
参考文献	37
2 磁性功能钢铁材料	40
2.1 概述	40
2.2 软磁钢铁材料	41
2.2.1 纯铁	42
2.2.2 荫罩钢与内屏蔽钢	54
2.2.3 磁轭钢与磁极钢	65
2.2.4 电工钢(electrical steel)	76
2.2.5 软磁合金钢	98
2.2.6 软磁不锈钢	113
2.2.7 高强度、超高强度软磁钢	139
2.2.8 用铁盐和铁粉制备磁性液体	149
2.2.9 抗电磁干扰用软磁钢	150
2.2.10 非晶软磁钢、纳米晶软磁钢与纳米晶复合磁性材料	151
2.3 永磁钢铁材料	152
2.3.1 概述	152

2.3.2 永磁钢(磁钢)	155
2.3.3 半永磁钢	158
2.3.4 永磁钢与半永磁钢的进展	161
2.4 块体非晶与纳米晶软磁钢铁材料	169
2.4.1 块体非晶软磁钢铁材料	169
2.4.2 块体纳米晶软磁钢铁材料	182
2.5 无(低)磁钢铁材料	186
2.5.1 概述	186
2.5.2 无磁铸铁	188
2.5.3 无磁合金结构钢	196
2.5.4 无磁轴承钢与工模具钢	215
2.5.5 无磁不锈钢与无磁高强度不锈钢	219
参考文献	273
3 电性功能钢铁材料	280
3.1 概述	280
3.2 电阻钢	280
3.2.1 一般电阻钢	281
3.2.2 改良型精密电阻钢	286
3.2.3 应变电阻钢	287
3.2.4 热敏电阻钢	291
3.3 超高压下的超导钢铁材料	292
3.3.1 概述	292
3.3.2 超导钢铁材料	292
参考文献	293
4 声学功能钢铁材料	294
4.1 概述	294
4.2 扬声与降噪的钢铁材料	294
4.2.1 琴钢丝	294
4.2.2 音叉型磁致伸缩型恒弹性钢	296
4.2.3 扩音器振动片用合金	299
4.2.4 音响器件与计算机硬盘用消音材料	300
4.2.5 降噪钢铁材料	301

4.2.6 声刺疗法中音叉用高级不锈钢	301
4.3 与吸波(隐身)材料有关的钢铁材料	301
4.3.1 概述	301
4.3.2 铁氧体	302
4.3.3 铁系金属超细粉末	304
4.3.4 超磁致伸缩材料	304
4.3.5 吸波材料的进展	305
参考文献	306
5 热学功能钢铁材料	307
5.1 概述	307
5.2 形状记忆钢	307
5.2.1 概述	307
5.2.2 形状记忆效应产生的机理	308
5.2.3 形状记忆钢的测试技术	310
5.2.4 形状记忆钢铁材料的进展	311
5.2.5 形状记忆钢的应用	335
5.2.6 形状记忆钢(合金)存在的主要问题与研究方向	341
5.3 电热钢	344
5.3.1 概述	344
5.3.2 电热钢的合金化	345
5.3.3 各国电热钢的成分与性能	353
5.3.4 电热钢的进展	366
5.3.5 电热钢的生产工艺技术	371
5.3.6 电热钢的选择	373
5.4 梯度功能钢铁材料	376
5.4.1 概述	376
5.4.2 梯度功能材料的制备工艺技术	377
5.4.3 梯度功能钢铁材料的进展	379
5.4.4 梯度功能材料的应用	384
5.5 太阳热能吸收用钢铁材料	384
5.5.1 直接吸收太阳能的非晶态钢	384
5.5.2 太阳热能吸收用黑色膜不锈钢	385
5.5.3 其他热能利用的钢铁材料	389

5.6 热-电变换用钢铁材料	390
5.6.1 概述	390
5.6.2 热-电材料的性能与进展	390
5.6.3 热-电发电的应用	392
参考文献	393
6 化学功能钢铁材料	397
6.1 概述	397
6.2 非铁储氢合金简介	398
6.2.1 稀土系(AB_5 型)储氢合金	398
6.2.2 钛系(AB 型)储氢合金	398
6.2.3 锆系(AB_2 型)储氢合金	399
6.2.4 镁系(A_2B 型)储氢合金	399
6.2.5 其他类型储氢合金	399
6.2.6 具有 bcc 构造的储氢合金	400
6.3 储氢钢铁材料与制备工艺技术的进展	401
6.3.1 储氢钢铁材料的进展	402
6.3.2 储氢钢(合金)制备工艺技术的进展	407
6.3.3 储氢钢(合金)的应用	410
6.3.4 储氢钢(合金)存在的主要技术问题与展望	413
6.4 钢铁触媒材料	418
6.4.1 概述	418
6.4.2 用作触媒的多孔铁	419
6.4.3 超微粒子铁催化剂	420
6.4.4 非晶态、微晶态、铁催化剂	420
6.4.5 人造金刚石用合金钢触媒	420
参考文献	421
7 生物医学功能钢铁材料	423
7.1 概述	423
7.1.1 对生物医学材料性能的要求	423
7.1.2 生物医学材料的分类	424
7.1.3 生物医学材料的发展史	425
7.1.4 金属材料的生理腐蚀	425

7.1.5 金属材料在生物体中的应用	427
7.2 合金元素对生物体的作用	427
7.2.1 镍对生物体的作用	427
7.2.2 铜对生物体的作用	428
7.2.3 锌对生物体的作用	428
7.2.4 铝对生物体的作用	428
7.2.5 铍对生物体的作用	428
7.2.6 铬对生物体的作用	428
7.2.7 钴对生物体的作用	429
7.2.8 钒对生物体的作用	429
7.2.9 锡对生物体的作用	429
7.2.10 钇对生物体的作用	429
7.2.11 汞对生物体的作用	429
7.2.12 无细胞毒性或低细胞毒性的合金元素	430
7.2.13 其他合金元素对生物体的作用	430
7.3 生体用不锈钢	430
7.3.1 概述	430
7.3.2 生体用不锈钢的进展	434
7.3.3 生体用不锈钢的表面改性技术	442
7.3.4 生体用不锈钢的研究动向	446
7.4 抗菌钢铁材料	447
7.4.1 概述	447
7.4.2 抗菌钢铁材料的试验方法	449
7.4.3 抗菌预涂层钢板	450
7.4.4 抗菌不锈钢	450
7.4.5 表面涂抗菌涂层的不锈钢	459
7.4.6 抗菌复合不锈钢板	462
7.4.7 抗菌复合不锈钢刀具钢	463
7.5 其他生物医学功能钢铁材料	463
7.5.1 医用感温性铁基非晶合金	464
7.5.2 医疗用耐蚀工具钢	464
参考文献	465
8 核功能钢铁材料	468
8.1 概述	468

8.1.1	合金元素的中子吸收断(截)面	468
8.1.2	钢铁材料中合金元素的活化行为	469
8.2	压水堆用钢铁材料	470
8.2.1	概述	470
8.2.2	压水堆控制与屏蔽用高中子吸收断面钢铁材料	470
8.2.3	压水堆压力容器用低辐照脆化、高强高韧钢	481
8.2.4	压水堆芯用抗辐照耐高温高压水腐蚀的不锈钢、核电用 不锈钢与结构钢	494
8.2.5	新一代轻水堆用材料的预研	500
8.3	快中子增殖堆用钢铁材料	501
8.3.1	概述	501
8.3.2	快中子堆燃料元件包壳用核级不锈钢	505
8.3.3	快中子堆压力容器用不锈钢	521
8.4	核聚变堆用钢铁材料	523
8.4.1	概述	523
8.4.2	核聚变堆第一壁材料	524
8.5	高温气冷堆用钢铁材料	541
8.5.1	概述	541
8.5.2	高温气冷堆用钢铁材料	543
8.6	钢铁材料的辐照效应	549
8.6.1	材料辐照效应原理	549
8.6.2	钢铁材料的辐照效应	552
	参考文献	561
9	特殊力学性能钢铁材料	564
9.1	概述	564
9.2	弹性钢铁材料	564
9.2.1	概述	564
9.2.2	弹性钢铁材料的进展	566
9.3	膨胀钢铁材料	582
9.3.1	概述	582
9.3.2	低膨胀钢铁材料	583
9.3.3	高膨胀钢铁材料	595
9.3.4	定膨胀钢铁材料	596

9.3.5 IC 引线框架用钢铁材料	600
9.4 减振钢铁材料	601
9.4.1 概述	601
9.4.2 减振钢铁材料的进展	614
9.5 超塑性钢铁材料	652
9.5.1 概述	652
9.5.2 超塑性钢铁材料的分类	652
9.5.3 微细晶粒超塑性钢铁材料	654
9.5.4 相变超塑性钢铁材料	661
9.5.5 超塑性钢铁材料的应用	668
参考文献	670
附录	673
附录1 中国金属功能材料标准目录	673
附录2 国外和国际金属功能材料标准目录	674
附录3 国标中金属物理性能试验方法	679
附录4 常用物理量名称和单位	680
附录5 金属材料常用计量单位换算系数	681
附录6 化学元素名称与符号对照表	682
附录7 国内外金属功能材料类似牌号对照	683
附录8 国内外电工用硅钢类似钢号对照	693
参考文献	696