

• 高等学校教学用书 •

材料组织结构 转变原理

刘宗昌 等编著



冶金工业出版社

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

高等学校教学用书

材料组织结构转变原理

刘宗昌 等编著

北 京
冶金工业出版社
2006

内 容 简 介

本书主要阐述了金属的形变、回复与再结晶,固态相变的基本规律,如相变热力学、动力学、晶体学、组织学、性能学等,重点论述了金属固态相变产物的物理实质和相变机理等。全书共 10 章,具体内容包括材料固态组织结构转变的基本规律,金属及合金的塑性变形,金属的回复、再结晶和热加工,钢中奥氏体的形成,共析分解与珠光体,马氏体相变与马氏体,贝氏体相变与贝氏体,淬火钢的回火转变,脱溶及时效,非金属材料的组织、结构与转变。

本书可作为高校“金属材料工程”专业本科生的教材,也可作为“金属材料加工工程”等专业硕士研究生的教学参考书。同时本书作为技术理论资料可供从事冶金、铸造、锻压、焊接、热处理、压力加工、粉末冶金以及新材料开发研究等领域的科研和技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

材料组织结构转变原理/刘宗昌等编著. —北京:冶金工业出版社,2006.9

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-4005-4

I. 材… II. 刘… III. ①金属材料—组织结构—相变理论—高等学校—教学参考资料 ②非金属材料—组织结构—相变理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TG14 ②TB32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 080131 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)

美术编辑 李 心 责任校对 王永欣 李文彦 责任印制 丁小晶

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

2006 年 9 月第 1 版,2006 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20.5 印张; 543 千字; 308 页; 1—3000 册

32.00 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

与时俱进,开拓创新,不断更新教学内容。

《材料组织结构转变原理》是根据“金属材料工程”专业 21 世纪新教学大纲编著的新教材。该课程不仅是“金属材料工程”专业的必修课程,也是该专业的主干课和核心课程之一。

《材料组织结构转变原理》一书的内容包括形变、再结晶、金属固态相变以及非金属材料的相变等,与以往的《金属热处理原理》的内容体系有所区别。涉及的问题包括:金属的形变、回复与再结晶;固态相变的基本规律,如相变热力学、动力学、晶体学、组织学、性能学等,重点是金属固态相变产物的物理实质和相变机理,还有非金属材料中组织结构转变等。这些内容是指导材料科学研究及工程的理论依据。

20 世纪末的教学改革,专业名称数量缩减,“金属材料工程”专业覆盖了原来的金属热处理、铸造、焊接、锻压、轧钢、金属腐蚀等专业。因此,不再设“金属热处理原理”课程,但是,各相关专业均需要掌握材料组织结构转变的理论知识,因此开设了“材料组织结构转变原理”等课程。

本教材是作者们在多年来讲授“金属热处理”、“金属学原理”、“金属固态相变”等课程的基础上,采用继承与创新相结合的方法,综合近年来的最新研究成果,不断补充、修改和完善内容,为适应 21 世纪教学改革和培养材料创新人才而编著的。本教材讲述了比较成熟的理论,增加了国内外研究、发展的一些新理论、新知识,也凝聚了我校多年来的科研成果;注意理论与实际相结合,注重理论向技术的转化,推动技术创新。同时,本教材运用科学技术哲学的观点,论述了金属及合金的整合系统和复杂性以及钢中相变的自组织规律。作者在笔耕中也曾鲜明地阐述了自己的学术观点,由此而引起的学术讨论,只要持之以理,论之有据,必将推动学术理论的发展和教学的改革。这是本书作者们所冀望的。

材料的组织结构转变极为复杂,尚有许多问题未能弄清楚。虽然建立了一套较为成熟的理论,但存在许多假说。对于某些相变机制方面的假说只做了概要的叙述,因为假说有假定性、易变性,可能被科学实践证实,也可能被证伪。开

拓创新是永恒的主题。

本教材的主要特点有以下 4 点:

(1) 与时俱进,较之 20 世纪出版的同类教材,本教材内容体系不同,知识有所更新;

(2) 应用科学技术哲学的理论更正了一些陈旧的概念,淘汰了某些过时的知识,建立了新概念,阐述了新理论;

(3) 开拓创新,增加了近年来材料研究的新成果、新理论、新学说,有利于培养学生的创新意识;

(4) 本书既可用于“金属材料工程”本科生的教学,也可供“材料加工工程”等专业硕士研究生教学参考和阅读。

本教材给本科生讲授需 50 学时,可采用电子教案授课,也可以根据教学要求有针对性地进行取舍。依据研究生的知识结构,可选择部分内容作为“材料固态相变”学位课讲授。对于从事冶金、铸造、锻压、焊接、热处理、压力加工、粉末冶金以及材料开发研究等行业的科研人员、技术人员,本教材可作为技术理论参考资料。

本教材共 10 章,参加编著的有:内蒙古科技大学刘宗昌教授(第 1、4~7 章),李文学教授(第 2、3 章),安胜利教授(第 10 章),任慧平教授(第 9 章),宋义全教授(第 8 章)。刘宗昌教授负责全书的总成。

编著过程中,参考并引用了一些书刊、文献、资料的有关内容,谨此致谢。由于作者水平所限,书中存在的不妥之处,敬请读者批评指正。

刘宗昌

2005 年 8 月 18 日

对金属相变理论中若干重要概念的修正

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,后来制钢技术迅速发展。我国在战国时代已进行钢的淬火。这些工匠手艺属于技术的范畴,直到 1868 年切尔诺夫发现钢在加热和冷却过程中存在相变,从此以后,热处理技术才从工匠手艺逐渐发展为科学理论。科学是以范畴、定理、定律形式反映现实世界多种现象的本质和运动规律的知识体系。科学是沿着“经验事实→假说→理论”的途径而发展的,即假说经受理论检验和实践检验,逐渐达到与客观一致,就转化为理论。科学技术哲学指出:概念是科学理论的细胞。可见概念极为重要,但科学概念的形成往往有个过程。初期观察不充分,认识有片面性,则概念欠准确。随着科学研究的深入,通过科学抽象,弄清了事物的本质和内在规律性,则应当与时俱进,更新概念,促进理论进一步发展。

本书就金属固态相变理论中的几个常用的重要概念,根据其物理实质和规律性做了修改。

奥氏体:钢中的奥氏体是碳及各种化学元素溶入 γ -Fe 中所形成的固溶体。

珠光体:钢中的珠光体是过冷奥氏体共析分解的铁素体和碳化物的整合组织。不是铁素体和渗碳体的机械混合物。

马氏体:马氏体是原子经无扩散切变位移的不变平面应变的晶格改组过程得到的具有严格晶体学关系和惯习面的,形成相中伴生极高密度位错或层错或精细孪晶等亚结构的整合组织。

马氏体相变:马氏体相变是指原子经无需扩散的切变位移进行不变平面应变的晶格改组的一级相变。

贝氏体:贝氏体是过冷奥氏体的中温转变产物,是以贝氏体铁素体为基体,同时可能存在 θ -渗碳体或 ϵ -碳化物、残留奥氏体等相的整合组织。贝氏体铁素体的形貌多呈条片状,内部有亚片条、亚单元等精细亚结构。

回火马氏体:回火马氏体是马氏体低温回火的转变产物,是由碳的过饱和 α 相基体与 η -Fe₂C(或 ϵ -碳化物)或碳原子偏聚团构成的整合组织。

回火托氏体:回火托氏体是马氏体中温回火的转变产物,是由已发生回复的铁素体基体与极为细小的碳化物所构成的整合组织。铁素体尚未完成再结晶,仍然保持着条片状形貌特征。由于碳化物颗粒极其细小,在光学显微镜下难以分辨其形态,看到一片黑色的组织形貌。以往的书刊中也称其为回火屈氏体。

回火索氏体:回火索氏体是马氏体高温回火的转变产物,是由等轴状铁素体晶粒基体上弥散分布着颗粒状的 θ -碳化物或特殊碳化物所构成的整合组织。实际生产中将仍然保持着马氏体或贝氏体的条片状特征,但在光学显微镜下放大500倍以上能够分辨其铁素体基体上分布着颗粒状的碳化物的整合组织,也称为回火索氏体。

上述各概念中,提到“整合”一词,它是科学技术哲学中的重要概念。整合是以系统的整体性为基础和前提的有机结合、有序配合或组织化匹配。金属及合金均为整合系统。自然界物质整合系统的演化是自组织的。整合系统不同于混合系统,混合系统没有渍组织功能。

刘宗昌

2005年8月28日

目 录

1 材料固态组织结构转变的基本规律	1
1.1 金属系统及相变的复杂性	1
1.1.1 金属及合金是复杂系统	2
1.1.2 金属整合系统	3
1.1.3 固态相变的自组织	4
1.2 固态组织结构转变的分类	5
1.2.1 形变与再结晶	6
1.2.2 固态相变的分类	6
1.3 金属的多形性及铁的热力学特征	10
1.3.1 金属的多形性	10
1.3.2 铁的多形性转变	11
1.3.3 体心立方铁的热力学特征	11
1.3.4 铁的临界点 A_3 、 A_4 的形成	12
1.4 相变驱动力和阻力	13
1.4.1 相变驱动力	14
1.4.2 相变阻力	14
1.5 形核	17
1.5.1 均匀形核	17
1.5.2 非均匀形核	19
1.6 新相的长大规律	24
1.6.1 成分不变协同型转变长大	24
1.6.2 成分不变非协同型转变长大	25
1.6.3 成分改变的非协同型转变的长大	26
1.7 相变动力学	28
1.7.1 形核率	28
1.7.2 Johnson-Mehl 方程	30
1.7.3 Avrami 方程	30
1.7.4 动力学曲线和等温转变图	30
1.8 析出相的聚集和组织的粗化	31
1.8.1 弥散析出相的聚集长大	31
1.8.2 纤维状组织的粗化	32
1.8.3 片状珠光体的球化	32
1.8.4 晶粒粗化及防止粗化措施	33

1.8.5 组织粗化应用实例——钢的退火软化机理	35
复习思考题	38
参考文献	38
2 金属及合金的塑性变形	40
2.1 单晶体的塑性变形	40
2.1.1 滑移	40
2.1.2 孪生	44
2.1.3 扭折	46
2.1.4 单晶体的应力—应变曲线(加工硬化曲线)	46
2.2 多晶体的塑性变形	48
2.2.1 晶粒取向差效应	48
2.2.2 晶界的作用	48
2.2.3 多晶体的应力—应变曲线	50
2.3 合金的塑性变形	50
2.3.1 单相固溶体合金的塑性变形特点	50
2.3.2 复相合金的塑性变形特点	52
2.4 金属形变后的组织、结构和性能	55
2.4.1 显微组织的变化	55
2.4.2 亚结构变化	55
2.4.3 晶粒位向改变——形变织构	56
2.4.4 塑性变形对性能的影响	57
2.5 高分子材料的塑性变形	59
复习思考题	60
参考文献	61
3 回复、再结晶和金属热加工	62
3.1 变形金属加热时的变化	62
3.1.1 显微组织的变化	62
3.1.2 储存能变化	62
3.1.3 性能的变化	63
3.2 回复	63
3.2.1 回复机制	64
3.2.2 回复动力学	65
3.2.3 回复退火的应用(消除内应力退火)	66
3.3 再结晶	66
3.3.1 再结晶机制	66
3.3.2 再结晶动力学	69
3.3.3 再结晶温度与再结晶后的晶粒尺寸	70

3.3.4 影响再结晶的主要因素	71
3.3.5 两相合金的再结晶	73
3.4 再结晶后的晶粒长大	74
3.4.1 晶粒的正常长大	74
3.4.2 晶粒的异常长大——二次再结晶	77
3.5 再结晶后的组织	79
3.5.1 再结晶退火后的晶粒大小	79
3.5.2 再结晶组织	79
3.5.3 退火孪晶(再结晶孪晶、生长孪晶)	80
3.6 动态回复和动态再结晶	80
3.6.1 动态回复	80
3.6.2 动态再结晶	82
3.7 金属的热加工	83
3.7.1 热加工对室温力学性能的影响	83
3.7.2 热加工的组织与性能	84
复习思考题	85
参考文献	86
4 钢中奥氏体的形成	87
4.1 奥氏体的组织结构和性能	88
4.1.1 奥氏体的组织形貌	88
4.1.2 奥氏体的晶体结构	89
4.1.3 奥氏体成分的不均匀性	89
4.1.4 奥氏体的性能	90
4.2 奥氏体形成机理	90
4.2.1 奥氏体形成的热力学条件	90
4.2.2 奥氏体晶核的形成	91
4.2.3 奥氏体晶核的长大	92
4.3 奥氏体等温形成动力学	93
4.3.1 共析碳素钢奥氏体等温形成动力学	93
4.3.2 亚共析碳素钢的等温 TTA 曲线	94
4.3.3 连续加热时奥氏体形成的 TTA 曲线	94
4.3.4 奥氏体的形核率和长大速度	95
4.3.5 影响奥氏体形成速度的因素	97
4.4 连续加热时奥氏体的形成特征	98
4.4.1 相变在一个温度范围内完成	99
4.4.2 奥氏体成分不均匀性随着加热速度的加快而增大	99
4.4.3 奥氏体起始晶粒随着加热速度增大而细化	100
4.5 奥氏体晶粒长大及控制	100

4.5.1 奥氏体晶粒长大现象	100
4.5.2 奥氏体晶粒长大机理	100
4.5.3 硬相微粒对奥氏体晶界的钉扎作用	102
4.5.4 影响奥氏体晶粒长大的因素	103
4.5.5 防止奥氏体晶粒长大的措施	103
4.6 非平衡组织加热时奥氏体的形成	104
4.6.1 针形奥氏体的形成	104
4.6.2 球形奥氏体的形成	104
4.6.3 影响非平衡组织加热转变的因素	105
4.6.4 粗大奥氏体晶粒的遗传性及防止措施	105
复习思考题	106
参考文献	107
5 共析分解与珠光体	108
5.1 珠光体的物理本质及其形貌	108
5.1.1 珠光体的物理本质	108
5.1.2 珠光体的组织形态	110
5.2 奥氏体共析分解机理	111
5.2.1 珠光体形成的热力学	112
5.2.2 珠光体转变机理	113
5.2.3 珠光体晶核的长大	115
5.3 钢中粒状珠光体的形成	117
5.3.1 特定条件下过冷奥氏体的分解	117
5.3.2 片状珠光体的低温退火	118
5.3.3 高温回火	118
5.4 动力学图	119
5.4.1 珠光体形核率及长大速度	120
5.4.2 过冷奥氏体等温转变 C-曲线	120
5.4.3 退火用 TTT 图	123
5.4.4 连续冷却转变动力学图——CCT 图	125
5.4.5 退火用 TTT 图、CCT 图在退火软化中的作用	125
5.5 影响共析分解的内在机制	127
5.5.1 奥氏体化状态的影响	127
5.5.2 奥氏体固溶碳量的影响	127
5.5.3 奥氏体中合金元素的影响	127
5.5.4 系统整合的作用	130
5.6 共析分解的特殊形式——相间沉淀	131
5.6.1 相间沉淀产物的形态	132
5.6.2 相间沉淀机理	132

5.7 珠光体的力学性能	134
5.7.1 珠光体的强度和塑性	135
5.7.2 铁素体+珠光体组织的力学性能	136
复习思考题	136
参考文献	137
6 马氏体相变与马氏体	138
6.1 马氏体相变的特征及定义	139
6.1.1 马氏体相变的基本特征	139
6.1.2 马氏体相变的判据	142
6.1.3 马氏体相变及马氏体的定义	142
6.2 马氏体相变的分类	143
6.2.1 按相变驱动力分类	143
6.2.2 按马氏体相变动力学特征分类	143
6.3 马氏体相变热力学	148
6.3.1 Fe-C 合金马氏体相变热力学条件	149
6.3.2 相变驱动力和相变阻力的热力学运算	150
6.3.3 求纯铁的马氏体点 M_s	151
6.3.4 钢的马氏体点 M_s	152
6.4 马氏体的物理本质及组织形态	152
6.4.1 钢中马氏体物理本质	152
6.4.2 体心立方马氏体(小于0.2%C)	153
6.4.3 体心正方马氏体(0.2%~1.9%C)	154
6.4.4 Fe-M 系合金马氏体	156
6.4.5 有色合金马氏体	159
6.5 马氏体的形核	161
6.5.1 引言	161
6.5.2 位错圈相界面模型	162
6.5.3 应变核胚模型	163
6.5.4 层错形核及长大模型	163
6.6 马氏体相变晶体学的经典模型	163
6.6.1 马氏体相变的 K-S 切变模型	164
6.6.2 马氏体相变的 G-T 模型,均匀切变和非均匀切变	167
6.7 马氏体相变晶体学的唯象学说	169
6.7.1 不变平面应变的概念	169
6.7.2 贝茵应变不是不变平面应变	170
6.7.3 不畸变平面的产生	172
6.7.4 简单切变	173
6.7.5 刚性转动	173

6.7.6 矩阵式描述	174
6.8 奥氏体的稳定化及残留奥氏体	175
6.8.1 奥氏体的热稳定化	175
6.8.2 奥氏体的机械稳定化	177
6.8.3 残留奥氏体	178
6.9 马氏体的力学性能	178
6.9.1 马氏体的强度和硬度	179
6.9.2 马氏体的韧性	180
6.9.3 马氏体相变超塑性	181
复习思考题	182
参考文献	182
7 贝氏体相变与贝氏体	184
7.1 贝氏体相变理论研究进展和学术论争	184
7.1.1 对贝氏体相变基本特征的共识	185
7.1.2 贝氏体相变争论的焦点	186
7.1.3 争论将会统一在“切变-扩散整合机制”这一整体认识上	188
7.1.4 贝氏体转变是自组织的	189
7.2 钢中贝氏体的组织结构	190
7.2.1 上贝氏体	190
7.2.2 下贝氏体	192
7.2.3 工业用钢中的贝氏体组织	193
7.2.4 贝氏体组织形貌的多样性	193
7.2.5 贝氏体组织中的精细亚结构	193
7.2.6 贝氏体铁素体与残留奥氏体的取向关系	196
7.2.7 魏氏组织	196
7.3 贝氏体相变热力学和动力学	197
7.3.1 贝氏体相变热力学	197
7.3.2 贝氏体相变动力学	199
7.4 贝氏体相变的过渡性及主要特征	202
7.4.1 中温转变是过冷奥氏体转变的中间过渡环节	202
7.4.2 上贝氏体转变和珠光体分解的联系与区别	203
7.4.3 下贝氏体转变和马氏体相变的联系与区别	204
7.4.4 贝氏体组织形貌的过渡性	205
7.4.5 贝氏体相变的主要特征	206
7.5 贝氏体相变机制	207
7.5.1 贫溶质区	207
7.5.2 钢中贝氏体相变受碳原子扩散控制	208
7.5.3 关于贝氏体相变的形核	209

7.5.4 关于贝氏体的长大机制	210
7.5.5 贝氏体组织的形成过程	212
7.5.6 结语	213
7.6 有色合金中的贝氏体	214
7.6.1 Cu-Zn 系合金中的贝氏体	214
7.6.2 Ag-Cd 合金中的贝氏体	214
7.6.3 U-Cr 合金中的贝氏体	215
7.6.4 Ag-Zn 合金中的贝氏体	216
7.7 块状相变	216
7.7.1 块状相变的定义	216
7.7.2 块状相变的合金及相图	216
7.7.3 纯金属中的块状相变	218
7.7.4 二元合金替换式固溶体中的块状相变	219
7.7.5 影响纯铁块状相变的因素	219
7.7.6 块状相变中形核及长大	220
7.7.7 块状转变与贝氏体相变的亲缘关系	220
7.8 钢中贝氏体的力学性能	221
7.8.1 贝氏体的强度和硬度	221
7.8.2 贝氏体的塑性和韧性	222
7.8.3 粒状贝氏体的力学性能	222
复习思考题	224
参考文献	224
8 淬火钢的回火转变	226
8.1 序言	226
8.2 碳素钢马氏体的脱溶	227
8.2.1 新鲜马氏体在低温回火时性能的变化	227
8.2.2 碳原子的偏聚	228
8.2.3 θ -Fe ₃ C 的过渡相	229
8.2.4 准平衡的 θ -Fe ₃ C	232
8.3 合金钢马氏体的脱溶	232
8.3.1 Fe-M-C 马氏体脱溶时的平衡相	233
8.3.2 Fe-M-C 马氏体脱溶时的(温度、时间)贯序	234
8.4 回火时 α 相的变化	235
8.4.1 马氏体的分解	236
8.4.2 α 相物理状态的变化	236
8.5 残余奥氏体分解及二次硬化现象	239
8.5.1 残余奥氏体的转变	239
8.5.2 回火二次硬化现象	241

8.6 淬火钢回火时力学性能的变化	243
8.6.1 淬火钢回火组织的概念	244
8.6.2 回火规程对力学性能的影响	245
8.6.3 回火转变产物的性能特点	246
8.6.4 回火脆性	247
复习思考题	248
参考文献	248
9 脱溶与时效	249
9.1 概述	249
9.1.1 固溶和脱溶	249
9.1.2 脱溶的分类	250
9.2 脱溶热力学	251
9.3 铝合金中的脱溶过程	253
9.3.1 Al-Cu 合金的脱溶	253
9.3.2 晶体缺陷对时效的影响	257
9.4 合金脱溶(时效)时性能的变化	259
9.5 低碳钢的时效	260
9.5.1 概述	260
9.5.2 Fe-N 系过饱和 α 固溶体的脱溶	261
9.5.3 低碳钢的时效动力学	262
9.5.4 含铜低碳钢的时效	263
9.6 调幅分解(拐点分解)	265
9.6.1 调幅分解的合金系及组织	265
9.6.2 调幅分解的驱动力	266
9.6.3 调幅分解的上坡扩散	268
9.6.4 调幅分解的阻力	268
复习思考题	269
参考文献	269
10 陶瓷材料的组织、结构与转变	270
10.1 氧化铝陶瓷体系	270
10.1.1 氧化铝的晶体结构	270
10.1.2 氧化铝的晶型转变	270
10.1.3 氧化铝陶瓷体系	271
10.2 氧化锆陶瓷体系	273
10.2.1 氧化锆的晶体结构及晶型转变	273
10.2.2 氧化锆体系的相关系	275
10.2.3 部分稳定氧化锆(PSZ)	277

10.2.4 四方相多晶氧化锆(TZP)	280
10.3 氮化物陶瓷的组织结构	282
10.3.1 氮化硅	282
10.3.2 赛隆(Sialon)陶瓷	286
10.3.3 氮化铝	289
10.4 碳化物陶瓷体系的组织结构	289
10.4.1 碳化硅的晶体结构	290
10.4.2 Si-C 体系相关关系	290
10.4.3 碳化硅的组织结构	290
复习思考题	293
参考文献	293
附 录	294
附录 1 各类钢的相变临界点	294
附录 2 相关常数	302
附录 3 化学元素名称英汉对照表(按英文字母顺序排列).....	302
附录 4 化学元素名称英汉对照表(按原子序数顺序排列).....	305
附录 5 希腊字母表	306
附录 6 罗马数字与阿拉伯数字对照表	307
附录 7 构成十进倍数和分数单位的国际单位制 SI 词头	308

1 材料固态组织结构转变的基本规律

(Basic Rule of Material Solid-state Structure Transformation)

金属材料和非金属材料在温度、压力等条件发生改变时会发生组织形态或晶体结构等方面的变化。在不产生化学成分时,晶体结构的转变,只是发生组织形貌的变化,则不属于相变;发生晶体结构类型转变的情况,称为相变。本章以讲授金属固态组织结构的转变为主,也叙述非金属材料中的组织结构变化。

金属固态相变的概念:固态金属及合金在温度、压力改变时,内部相结构发生相互转变的现象,称之为金属的固态相变。在相变过程中,往往发生成分、晶体结构、组织形貌和性能的变化。

研究金属固态相变有着重要的意义:掌握金属的成分、组织结构、性能三者之间的变化规律,就可以控制相变过程以便获得预期的组织结构,从而使之赋予预期的性能。能动地控制材料的相变过程有利于改进生产技术,发展生产,增加效益,即促进科学技术向生产力的转化,为人类社会服务。

1.1 金属系统及相变的复杂性

有关金属及合金的科学理论研究、金属材料及相关技术的开发和应用等,20世纪以来已经取得了辉煌的成就。但是,在近代物理冶金的理论研究中,由于条件的限制,有时将金属视为简单性问题,或将其复杂性问题进行简单化处理,从而得出一定的规律性。按照自然辩证法(即科学技术哲学)^①的哲学观点,金属及合金是开放的复杂系统^②。实际上,金属、合金、碳素钢,尤其是合金钢以及多元高合金钢,都是复杂系统,属于复杂性问题,用研究简单性问题的方法往往派不上用场,难以得出精确的结论。20世纪中叶兴起了运用系统科学的方法来研究自然界的复杂性问题^[1]。探索复杂性可以更详尽、更全面地研究对象的本来面目,揭示难以发现的规律性。复杂性研究与系统整合方法^③密切相关。

本节从科学技术哲学的高度,高屋建瓴,阐明金属及合金的复杂性。认为各种金属及合金都是复杂的整合系统,原子、晶格、相、组织是组成金属及其合金的各个层次的要素,各要素的非线性相互作用,固态相变的自组织^④条件及功能使金属固态相变、晶体结构、组织形貌、性能等具有了复杂的物理实质和规律性^[1,2]。

① 自然辩证法(即科学技术哲学):人们认识自然、改造自然的根本观点和思维方式,关于自然界和科学技术发展的一般规律以及人们认识自然和改造自然的一般方法的科学。

② 系统:由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体。自然界的各种物质形态不是系统就是某个系统的组织部分,都在系统形式中存在着、运动着。

③ 系统整合方法:人们在处理复杂问题时始终要从整体出发,从部分之间的相互整合入手,去揭示或建构整体大于部分之总和的机制的一种思维原则和方法。

整合:以系统的整体性为基础和前提的有机结合、有序配合或组织化匹配,称为整合。整合系统不同于混合系统。

④ 自组织:如果系统获得空间结构、时间结构的过程不受特定的外界干预,而是一个自发的组织化、有序化和系统化的过程,就是自组织。自然界的系统演化、自然事物结构的形成或有序化都是系统自组织的过程。