

热处理手册

工艺基础

第3版

中国机械工程学会热处理专业分会
《热处理手册》编委会 编

1

热处理手册

(第3版)

第1卷 工艺基础

中国机械工程学会热处理专业分会
《热处理手册》编委会 编



机械工业出版社

本手册是一部热处理专业的综合工具书,共4卷。第1卷 工艺基础,第2卷 典型零件热处理,第3卷 热处理设备和工辅材料,第4卷 热处理质量控制与检验。

本书是第1卷,共10章,内容包括金属的热处理加热和冷却、钢铁热处理及表面热处理、非铁金属和合金的热处理、铁基粉末冶金件和硬质合金的热处理、功能材料的热处理等。

本书可供热处理工程技术人员、质量检验和生产管理人员使用,也可供科研开发、设计、高校和中专材料科学与工程专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理手册.第1卷.工艺基础/中国机械工程学会
热处理专业分会《热处理手册》编委会编.—3版.

—北京:机械工业出版社,2001.8

ISBN 7-111-02357-9

I. 热… II. 中… III. 热处理-工艺

IV. TG15-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第035260号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:韩会民 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云
季顺利 姚培新

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年7月第3版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·21.75印张·3插页·1336千字

48 001—52 000册

定价:62.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527

中国机械工程学会热处理专业分会
《热处理手册》第3版编委会 名单

主任委员 孙大涌

副主任委员 王广生 刘 迨 俞少罗 雷廷权 樊东黎

委 员 王广生 安运铮 刘 迨 李福臣 俞少罗

宋余九 周敬恩 侯增寿 荀毓闽 崔 昆

黄国靖 雷廷权 潘 邻 潘健生 樊东黎

《热处理手册》总主编 樊东黎 王广生

本卷主编 侯增寿 樊东黎

前 言

四卷本的《热处理手册》于1992年10月完成第2版修订，并出版发行，至今已重印7次、四卷累计印数30万余册。

按照中国机械工程学会热处理专业分会第二届第三次理事扩大会议决议，手册将逐版修订下去，不断删去过时落后的内容，补充国内外最新成就及先进的生产技术，使其永葆青春活力，为行业技术进步起持续推动作用。

根据手册第3版修订编委会通过的编例，本次修订的主要原则是：以总结国内先进经验、科研开发和引进技术消化吸收成果为主，同时吸收国外成熟的先进技术；普及与提高相结合；力求资料和数据科学性、实用性、可靠性和先进性。手册的读者对象定位为中专文化程度以上的从事热处理生产的技术人员；也可供科研、开发、设计人员，教师、学生、生产管理人员和熟练技术工人参考。

手册第3版修订后仍为四卷，分四个分册出版。第1卷 工艺基础，第2卷 典型零件热处理，第3卷 热处理设备和工辅材料，第4卷 热处理质量控制和检验。

修订后，第1卷的主要变动为：增加冷却一章，旨在提高对冷却重要性的认识；将基础部分的钢铁加热转变和冷却转变放在相应的“加热”和“冷却”各章中；“钢的淬透性”和“回火转变”放在“整体热处理”一章的“淬火与回火”一节；将铁碳合金相图和非铁合金相图放在第一章概论中，将“冷处理”作为“淬火钢深度冷却过程”一节，放在“冷却”一章中；取消“其他热处理方法”一章，将“激光电子束热处理”放在“表面热处理”一章；“离子化学热处理”并入“化学热处理”一章；将“奥氏体状态化学热处理”和“铁素体状态化学热处理”合并为“化学热处理”；将“形变热处理”从“其他热处理”中的一节提升为章；在“功能合金热处理”一章中增加“形状记忆合金”一节。

修订后，第2卷的主要变动为：增加了“零件热处理工艺制定原则和程序”以及“零件热处理工艺性”两章，重点说明机器零件热处理工艺制订的通则和零件热处理与设计、结构、使用条件的关系；在各种零件热处理各章都增加了“失效分析”一节，使热处理工艺措施能够对症下药；将“大型锻件热处理”、“轧辊热处理”和“电站设备零件热处理”中的“转子和叶轮锻件预备热处理”部分合并为“大型铸锻件热处理”一章；在“发电供电设备零件热处理”一章中补充“汽轮机叶片热处理”一节。

第3卷内容作了如下变动：增加“热处理工艺材料”和“热处理节能与环境保护”两章；把“热处理的机械化和自动化”一章改为“热处理生产过程控制”。

第4卷改动的主要内容为：在质量的控制和检验两部分内容中把重点放在了质量的控制和管理；在“宏观组织检验及断口分析”一章中补充“失效分析方法”一节；增加了新的检验和试验研究方法；在“热处理常用数据”中增加了许多新的有用数据。

由这些内容的变动和补充可知，本次修订的绝大部分内容是重新编写，而不是简单的修改补充。经本次修订出版后的热处理手册肯定会使读者耳目一新。

中国机械工程学会热处理专业分会
《热处理手册》第3版编辑委员会

目 录

第 1 章 基础资料 1

1.1 金属热处理分类及代号 1

1.1.1 基础分类 1

1.1.2 附加分类 1

1.1.3 常用热处理工艺及代号 2

1.2 合金相图 3

1.2.1 铁碳系合金相图 3

1.2.2 其他铁基合金相图 9

1.2.3 铝基、铜基及钛基合金 相图 10

1.3 现有热处理标准题录 16

参考文献 20

第 2 章 金属热处理的加热 21

2.1 钢的加热转变 21

2.1.1 珠光体—奥氏体转变 21

2.1.2 铁素体—珠光体向奥氏体的 等温转变 23

2.1.3 连续加热时的奥氏体形成 过程 24

2.1.4 钢加热时的奥氏体晶粒 长大 26

2.1.5 过热和过烧 27

2.1.6 钢的晶粒度对性能的 影响 28

2.1.7 奥氏体晶粒度的显示和 测定 29

2.2 加热介质和加热计算 31

2.2.1 加热介质分类 31

2.2.2 金属在各种介质中加热时的 行为 31

2.2.3 加热计算公式及常用 图表 40

2.2.4 加热节能措施 45

2.3 可控气氛 46

2.3.1 分类及用途 46

2.3.2 制备方法 46

2.3.3 炉气控制原理 74

2.3.4 炉气检测方法 78

2.4 加热熔盐和流态床 83

2.4.1 加热熔盐的成分及用途 83

2.4.2 盐浴的脱氧及脱氧剂 88

2.4.3 长效盐 88

2.4.4 流态床加热的特点 88

2.5 真空中的加热 95

2.5.1 金属在真空中加热时的 行为 95

2.5.2 金属在真空中的加热 速度 96

参考文献 97

第 3 章 金属热处理的冷却 98

3.1 钢的过冷奥氏体转变 98

3.1.1 过冷奥氏体的高温分解 98

3.1.2 马氏体转变与马氏体 101

3.1.3 贝氏体转变与贝氏体 106

3.1.4 过冷奥氏体等温分解转变 动力学 109

3.2 钢件热处理的冷却过程 114

3.2.1 热处理的各种冷却方式 114

3.2.2 钢冷却时的内应力 115

3.2.3 淬火裂纹 117

3.2.4 淬火畸变 119

3.3 淬火冷却介质 122

3.3.1 淬火冷却介质应具备的特性及其 分类 122

3.3.2 淬火介质冷却特性的评价 方法 122

3.3.3 常用淬火介质及冷却 方式 131

3.4 淬火冷却过程的计算机

模拟 144

3.4.1 导热计算 144

3.4.2 相变量的计算	145	5.3.3 表面相变硬化	273
3.4.3 应力场分析	146	5.3.4 表面熔化快速凝固硬化	283
3.4.4 复杂淬火操作的模拟以及 非线性处理	146	5.3.5 表面合金化和熔覆	286
3.4.5 借助于计算机模拟进行热处理 虚拟生产	147	5.3.6 激光热处理设备	288
参考文献	147	5.4 其他表面热处理方式	290
第 4 章 钢铁件的整体		5.4.1 电接触加热表面淬火	290
 热处理	149	5.4.2 电解液加热表面淬火	291
4.1 钢的热处理	149	5.4.3 浴炉加热表面淬火	292
4.1.1 钢的退火与正火	149	参考文献	292
4.1.2 钢的淬火	154	第 6 章 化学热处理	293
4.1.3 钢的回火	171	6.1 钢的渗碳	294
4.1.4 钢的感应穿透加热调质	178	6.1.1 渗碳原理	294
4.2 铸铁的热处理	181	6.1.2 渗碳方法	296
4.2.1 铸铁的分类和应用	181	6.1.3 渗碳用钢及渗碳后的热 处理	309
4.2.2 铸铁热处理基础	186	6.1.4 渗碳层的组织和性能	311
4.2.3 白口铸铁的热处理	194	6.1.5 渗碳件质量检查、常见缺陷及 防止措施	313
4.2.4 灰铸铁的热处理	196	6.2 钢的碳氮共渗	314
4.2.5 球墨铸铁的热处理	203	6.2.1 概述	314
4.2.6 可锻铸铁的热处理	216	6.2.2 气体碳氮共渗	315
参考文献	222	6.2.3 其他碳氮共渗方法	318
第 5 章 表面加热热处理	223	6.2.4 碳氮共渗用钢及共渗后的 热处理	319
5.1 感应加热热处理	223	6.2.5 碳氮共渗层的组织和 性能	321
5.1.1 感应加热原理	223	6.2.6 碳氮共渗工件质量检查与常见 缺陷及防止措施	323
5.1.2 钢件感应加热时的相变 特点	226	6.3 渗氮及以氮为主的共渗	324
5.1.3 感应器	231	6.3.1 渗氮	324
5.1.4 感应淬火工艺	247	6.3.2 氮碳共渗	340
5.1.5 超高频脉冲和大功率脉冲感应 淬火	262	6.3.3 氧氮共渗	345
5.1.6 感应淬火件的回火	264	6.3.4 硫氮共渗	345
5.2 火焰加热表面淬火	265	6.3.5 硫氮碳共渗	346
5.2.1 火焰加热方法	265	6.4 渗金属及碳氮之外的非 金属	348
5.2.2 火焰喷嘴和燃料气	267	6.4.1 渗硼	348
5.2.3 火焰加热表面淬火工艺 规范	267	6.4.2 渗铝	351
5.3 激光、电子束热处理	270	6.4.3 渗锌	354
5.3.1 激光热处理的特点	270	6.4.4 渗铬	356
5.3.2 电子束热处理的特点	273	6.4.5 熔盐碳化物覆层工艺	358

6.4.6	渗硫	360	7.5.3	钢件化学热处理后的表面高温 形变淬火	431
6.4.7	渗硅、钛、铌、钒、锰	362	7.5.4	钢件晶粒多边形化处理后的化学 热处理	431
6.4.8	多元共渗与复合渗	363	参考文献		432
6.5	离子化学热处理	365	第 8 章 非铁金属的热处理		
6.5.1	离子化学热处理基础	365	8.1	铜及铜合金的热处理	433
6.5.2	离子渗氮	368	8.1.1	铜及铜合金	433
6.5.3	离子氮碳共渗	371	8.1.2	铜及铜合金的热处理 概述	443
6.5.4	离子渗碳及碳氮共渗	372	8.1.3	工业纯铜的热处理	444
6.5.5	离子硫氮(碳)共渗	374	8.1.4	黄铜的热处理	444
6.5.6	离子渗硼	375	8.1.5	青铜的热处理	446
6.5.7	离子渗金属	376	8.1.6	白铜及其热处理	451
6.5.8	气相沉积技术	377	8.2	铝及铝合金的热处理	457
6.5.9	离子注入技术	386	8.2.1	铝及铝合金	457
参考文献		388	8.2.2	变形铝合金的退火	465
第 7 章 形变热处理		389	8.2.3	变形铝合金的固溶处理与 时效	466
7.1	概述	389	8.2.4	其他热处理	476
7.2	低温形变热处理	391	8.2.5	变形铝合金加工及热处理状态 标记	480
7.2.1	低温形变热处理工艺	391	8.2.6	铸造铝合金的热处理	481
7.2.2	钢低温形变热处理的组织 变化	395	8.2.7	铝合金的热处理缺陷	483
7.2.3	钢低温形变热处理后的力学 性能	397	8.3	镁合金的热处理	486
7.2.4	其他低温形变热处理	403	8.3.1	镁及镁合金	486
7.3	高温形变热处理	410	8.3.2	镁合金热处理的主要 类型	489
7.3.1	高温形变热处理工艺	410	8.3.3	热处理设备和操作	492
7.3.2	钢高温形变淬火的组织 变化	413	8.3.4	热处理缺陷及防止方法	492
7.3.3	钢高温形变热处理后的力学 性能	415	8.3.5	镁合金热处理安全技术	493
7.3.4	钢的锻热淬火	421	8.4	钛及钛合金的热处理	493
7.3.5	控制轧制	424	8.4.1	钛合金中的合金元素	495
7.3.6	非调质钢	426	8.4.2	钛及钛合金的分类	496
7.4	表面形变热处理	426	8.4.3	钛合金中的不平衡相变	499
7.4.1	表面高温形变淬火	426	8.4.4	钛合金的热处理工艺	500
7.4.2	预冷形变表面形变热 处理	428	8.4.5	影响钛合金热处理质量的 因素	507
7.4.3	表面形变时效	429	参考文献		507
7.5	形变化学热处理	430	第 9 章 铁基粉末冶金件及硬质 合金的热处理		
7.5.1	形变对扩散过程的影响	430			
7.5.2	钢件化学热处理后的冷 形变	431			

9.1 概论	508	9.5 硬质合金及其热处理	553
9.1.1 粉末冶金的应用范围	508	9.5.1 硬质合金的分类和用途	553
9.1.2 粉末冶金方法	508	9.5.2 影响硬质合金性能的因素	557
9.1.3 粉末冶金材料的分类	512	9.5.3 硬质合金的牌号、性能和用途	557
9.2 铁基粉末冶金件及其热处理	513	9.5.4 硬质合金的热处理	558
9.2.1 铁基粉末冶金材料的分类	513	9.5.5 国外硬质合金牌号、性能及用途	561
9.2.2 铁基粉末冶金材料的标记方法	514	参考文献	563
9.2.3 铁基粉末冶金件的制造工艺流程	514	第 10 章 功能合金的热处理	564
9.2.4 粉末冶金用铁和铁合金粉末	514	10.1 磁性合金的热处理	564
9.2.5 烧结铁、钢、不锈钢粉末冶金件的性能	518	10.1.1 软磁合金的热处理	564
9.2.6 提高铁基粉末冶金件性能的方法	519	10.1.2 永磁合金的热处理	578
9.2.7 铁基粉末冶金件的应用	520	10.2 膨胀合金的热处理	596
9.2.8 铁基粉末冶金件的热处理	522	10.2.1 低膨胀合金的热处理	596
9.2.9 国外铁基粉末冶金件的牌号、成分和性能	534	10.2.2 铁磁性定膨胀合金的热处理	604
9.3 钢结硬质合金及其热处理	542	10.2.3 无磁性定膨胀合金的热处理	613
9.3.1 钢结硬质合金的特点、牌号、性能和用途	542	10.2.4 高膨胀合金的热处理	616
9.3.2 钢结硬质合金的热处理	543	10.3 弹性合金的热处理	619
9.3.3 钢结硬质合金的组织与性能	546	10.3.1 高弹性合金的热处理	619
9.4 粉末高速钢及其热处理	552	10.3.2 恒弹性合金的热处理	642
9.4.1 粉末高速钢类别和性能	552	10.4 形状记忆合金及其成形处理	652
9.4.2 热等静压和热挤压粉末高速钢	522	10.4.1 超弹性和形状记忆效应	652
		10.4.2 钛镍形状记忆合金	658
		10.4.3 铜基形状记忆合金	667
		10.4.4 形状记忆合金的应用	675
		参考文献	683

第1章 基础资料

侯增寿 孙亦慧

1.1 金属热处理分类及代号

表 1-1 为 GB/T 12603—1990 按工艺类型、工艺名称和实现工艺的加热方法等三个层次划分的金属热处理基础分类及代号。

1.1.1 基础分类

表 1-1 热处理工艺分类及代号

工艺总称	代号	工艺类型	代号	工艺名称	代号	加热方法	代号		
热处理	5	整体热处理	1	退火	1	加热炉	1		
				正火	2				
				淬火	3				
				淬火和回火	4	感应	2		
				调质	5				
				稳定化处理	6	火焰	3		
				固溶处理；水韧处理	7				
				固溶处理和时效	8				
		表面热处理	2		2	表面淬火和回火	1	电阻	4
						物理气相沉积	2		
						化学气相沉积	3	激光	5
						等离子体化学气相沉积	4		
		化学热处理	3		3	渗碳	1	电子束	6
						碳氮共渗	2		
						渗氮	3		
						氮碳共渗	4	等离子体	7
						渗其他非金属	5		
						渗金属	6		
						多元共渗	7		
						熔渗	8	其他	8

1.1.2 附加分类

为不同加热介质、各种退火工艺、不同淬火冷却介质和冷却方法以及渗碳、碳氮共渗后各种冷却方法的代号，分别见表 1-2。

GB/T 12603—1990 采用相应的英文字头作

表 1-2 热处理工艺、介质及方法代号

代号种类	分类及代号											
	固体		液体		气体		真空	保护气氛		可控气氛	流态床	
加热介质	S		L		G		V	P		C	F	
退火工艺	去应力退火		扩散退火		再结晶退火		石墨化退火	去氢退火		球化退火	等温退火	
	e		d		r		g	h		s	n	
冷却介质和方法	空气	油	水	盐水	有机溶液	盐浴	压力淬火	双介质淬火	分级淬火	等温淬火	形变淬火	冷处理
	a	e	w	b	y	s	p	d	m	n	f	z
渗碳、碳氮共渗后冷却方法	直接淬火			一次加热淬火			二次加热淬火			表面淬火		
	g			r			t			h		

1.1.3 常用热处理工艺及代号

表 1-3 列出常用热处理工艺及根据基础分类代号和附加分类代号编完的工艺代号。

表 1-3 常用热处理工艺及代号

工 艺	代 号
热处理	5000
感应热处理	5002
火焰热处理	5003
激光热处理	5005
电子束热处理	5006
离子热处理	5007
直空热处理	5000V
再结晶退火	5111r
石墨化退火	5111g
去氢退火	5111h
球化退火	5111s
等温退火	5111n
正火	5121
淬火	5131
空冷淬火	5131a
油冷淬火	5131e
水冷淬火	5131w
盐水淬火	5131b
有机水溶液淬火	5131y
盐浴淬火	5131s
压力淬火	5131p
双介质淬火	5131d
分级淬火	5131m
等温淬火	5131n

(续)

工 艺	代 号
形变淬火	5131f
淬火及冷处理	5131z
感应淬火	5132
真空加热淬火	5131V
保护气氛加热淬火	5131P
可控气氛加热淬火	5131C
流态床加热淬火	5131F
盐浴加热淬火	5131L
盐浴加热分级淬火	5131Lm
盐浴加热盐浴分级淬火	5131Ls+m
淬火和回火	5141
调质	5151
稳定化处理	5161
固溶处理,水韧处理	5171
固溶处理和时效	5181
表面热处理	5200
表面淬火和回火	5210
感应淬火和回火	5212
火焰淬火和回火	5213
电接触淬火和回火	5214
激光淬火和回火	5215
电子束淬火和回火	5216
物理气相沉积	5228
化学气相沉积	5238
等离子体化学气相沉积	5248
化学热处理	5300
保护气氛热处理	5000P
可控气氛热处理	5000C

(续)

工 艺	代 号
流态床热处理	5000F
整体热处理	5100
退火	5111
去应力退火	5111c
扩散退火	5111d
渗碳	5310
固体渗碳	5311S
液体渗碳	5311L
气体渗碳	5311G
真空渗碳	5311V
可控气氛渗碳	5311C
流态床渗碳	5311F
离子渗碳	5317
渗碳及直接淬火	5311g
气体渗碳及直接淬火	5311Gg
渗碳及一次加热淬火	5311r
渗碳及二次加热淬火	5311t
渗碳及表面淬火	5311h
碳氮共渗	5320
渗氮	5330
液体渗氮	5331L
气体渗氮	5331G
离子渗氮	5337
流态床渗氮	5331F
氮碳共渗	5340
渗其他非金属	5350
渗硼	5350(B)
固体渗硼	5351(B)S
液体渗硼	5351(B)L
离子渗硼	5357
渗硅	5350(Si)
渗硫	5350(S)
渗金属	5360
渗铝	5360(Al)
渗铬	5360(Cr)
渗锌	5360(Zn)
渗钒	5360(V)
多元共渗	5370

(续)

工 艺	代 号
硫氮共渗	5370(S-N)
铬硼共渗	5370(Cr-B)
钒硼共渗	5370(V-B)
铬硅共渗	5370(Cr-Si)
硫氮碳共渗	5370(S-N-C)
铬铝硅共渗	5370(Cr-Al-Si)
溶渗	5380
激光熔渗	5385
电子束熔渗	5386

1.2 合金相图

热处理的主要工艺过程是加热和冷却。对绝大多数热处理工艺而言,不论在加热和冷却过程中材料化学成分是否发生变化,都是通过改变材料的力学性能或物理、化学性能来改善坯料的加工工艺性能或工件的服役能力。不论最终获得何种组织,加热过程中材料的组织都将向平衡或稳定的状态变化,掌握热处理全过程中材料组织发生的变化,首先必须熟悉材料的化学成分、温度与其平衡组织间的关系。合金相图全面地表述了这种关系。

1.2.1 铁碳系合金相图

1.2.1.1 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 二元合金相图

铁碳合金(钢和铸铁)碳含量超过它在铁中的溶解度后,在不同条件下将分别以 Fe₃C(渗碳体)或石墨两种形式存在。过剩的碳以前一种状态存在时,合金组织处于准平衡状态;以后一种状态存在时,合金组织处于平衡状态。Fe-Fe₃C 合金相图及 Fe-C 合金相图分别表述铁碳合金的准平衡组织和平衡组织与碳含量和温度的关系(见图1-1)。

相区中标出的符号及各特性点、特性线和含义见表1-4~表1-6。

1.2.1.2 主要合金元素对钢铁平衡组织及平衡相变温度的影响

1. 对共晶组织、共析组织碳含量及碳在奥氏体中的溶解度的影响 钢铁中常用主要合金元素对共晶组织、共析组织碳含量及碳在奥氏体中的最大溶解度可用C、S、E点成分坐标的偏移量粗略表示(见表1-7)。

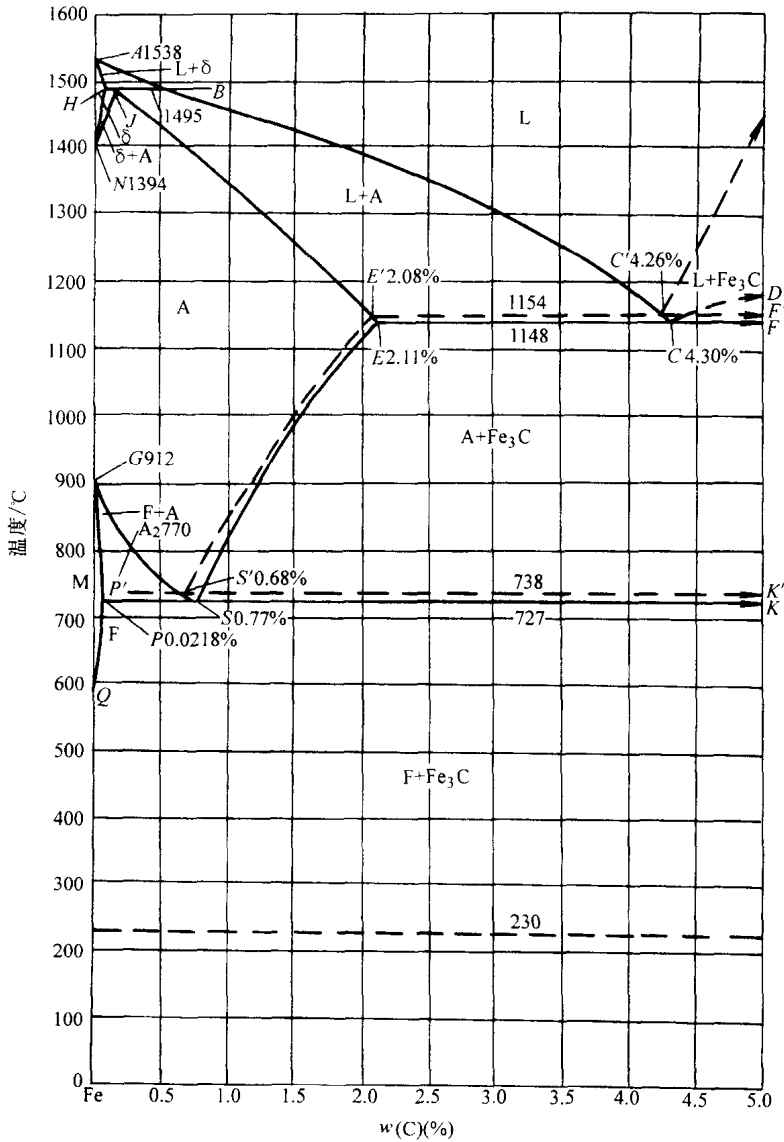


图 1-1 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 相图

表 1-4 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金

(续)

相图相区中的代号

代号	相的名称	结 构
F	铁素体	碳在 α-Fe 中的间隙固体, 体心立方结构, 有时以 α 为代号
A	奥氏体	碳在 γ-Fe 中的间隙固体, 面心立方结构, 有时以 γ 为代号

代号	相的名称	结 构
δ	δ 固溶体	碳在 δ-Fe 中的间隙固体, 体心立方结构
Fe ₃ C	渗碳体	以分子式 Fe ₃ C 表述的金属化合物, 正交点阵
G	石墨	游离的碳晶体, 密排六方结构
L	液相	铁碳合金的熔融液体

表 1-5 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相
图中的特性点 $w(C)(\%)$

点	°C	$w(C)(\%)$	说 明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶线的端点
C	1148	4.3	共晶点(Fe-Fe ₃ C 系)
C'	1154	4.26	共晶点(Fe-C 系)
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 A 中的最大溶解度 (Fe-Fe ₃ C 系)
E'	1154	2.08	碳在 A 中的最大溶解度 (Fe-C 系)
F	1148	6.69	共晶线的端点(Fe-Fe ₃ C 系)
F'	1154	6.69	共晶线的端点(Fe-C 系)
G	912	0	α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe 同素异构转变 点
H	1495	0.09	包晶线的端点
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	共析线的端点(Fe-Fe ₃ C 系)
K'	738	6.69	共析线的端点(Fe-C 系)
M	770	0	α -Fe 的磁性转变点
N	1394	0	γ -Fe \rightleftharpoons δ -Fe 同素异构转变 点
O	770		铁素体的磁性转变点
P	727	0.0218	Fe-Fe ₃ C 系碳在 A 中的最大 溶解度
P'	738	-0.02	Fe-C 系碳在 A 中的最大溶 解度
Q		0.008	碳在 F 中的常温溶解度
S	727	0.77	Fe-FeC 系中的共析点
S'	738	0.68	Fe-C 系中的共析点

2. 常用主要合金元素对 C、S、E 点温度坐标的影响 如表 1-8 所示。

表 1-6 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金
相图中的特性线

特 性 线	说 明
AB	δ 相的液相线
BC	A 的液相线
CD	Fe ₃ C 的液相线
CD'	G 的液相线(Fe-C 系)
AH	δ 的固相线
JE	A 的固相线
JE'	A 的固相线(Fe-C 系)
HN	$\delta \rightarrow A$ 始温线
JN	$\delta \rightarrow A$ 终温线
GS	A \rightarrow F 始温线(A ₃)
GS'	A \rightarrow F 始温线(Fe-C 系)
230°C 水平线	Fe ₃ C 的磁性转变线
GP	A \rightarrow F 终温线
ES	A \rightarrow Fe ₃ C 始温线(A _{cm})
ES'	A \rightarrow G 始温线(Fe-C 系)
PQ	碳在 F 中的溶解度线
P'Q	碳在 F 中的溶解度线(Fe-C 系)
MO	F 的磁性转变线
HJB	L _B + δ _H \rightleftharpoons A _J 包晶转变线
ECF	L _C \rightleftharpoons A _E +Fe ₃ C 共晶转变线
E'C'F'	L \rightleftharpoons A _E +G 共晶转变线(Fe-C 系)
PSK	A _S \rightleftharpoons F _P +Fe ₃ C 共析转变线(A1)
P'S'K'	A _S \rightleftharpoons F _P +G 共析转变线(Fe-C 系)

表 1-7 Si、Mn、Ni、Cr 对 C、S、E 点成分
(质量分数)坐标的影响
($\Delta C\%/1\%Me$)

元素名称	C	S	E
Si	-0.3	-0.06	-0.11
Mn	+0.03	-0.05	+0.04
Ni	-0.07	-0.05	-0.09
Cr	-0.05	-0.05	-0.07

表 1-8 Si、Mn、Ni、Cr 对 C、S、E 点温度坐标的影响

($\Delta T(^{\circ}\text{C})/1\% \text{Me}$)

元素名称	C	S	E
Si	-(15~20)	-8	-(10~15)
Mn	+3	-9.5	+3.2
Ni	-6	-20	+4.8
Cr	+7	+15	+7.3

3. 合金元素在钢铁中形成的碳化物 Cr、Mo、W、V、Nb、Ta、Zr、Ti 等在钢铁中均可能形成合金碳化物或溶于 Fe_3C 。合金碳化物一般并非化学计量相面有一定成分范围,其中还可能溶入其他元素。WC 还能以分子形式溶入 VC、NbC、

TaC、ZrC、TiC。钢中碳化物的种类及其他元素在其中的可溶性见表 1-9。

1. 2. 1. 3 Fe-C-Me 三元合金相图

铁碳合金中的第三组元(合金元素)使包晶、共晶、共析等三相平衡相变成为变温转变过程、不能在一定温度下完成相变,只能在一定温度范围内完成相变。与此同时,对合金元素添加量较多的 Fe-C-Me 三元合金还将发生三元包晶、三元共晶、三元共析、包共晶、包共析等五相平衡转变。这些相平衡转变可在恒温下完成。图 1-2~图 1-5 作为示例展示的 Fe- Fe_3C -Si(2%)、Fe-C-Si(2.4%)、Fe-C-Cr(1.6%)、Fe-C-Cr(13%)三元合金相图。

表 1-9 钢中合金元素在碳化物中的可溶性

碳化物的分子式	Fe	Mn	Cr	Mo	W	V	Nb	Ta	Zr	Ti	常见其他分子式
Fe_3C	0	无限	16	≈ 16	1.3	0.6	≈ 0.1		0.1	0.15~0.25	$(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 、 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$
Cr_7C_3	55	多									$(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$
Cr_{23}C_6	35	多	溶	溶	溶	溶					$(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 、 Cr_4C
$\text{Fe}_{21}\text{W}_2\text{C}_6$	溶	溶	溶	溶	溶	溶					M_{23}C_6 、 $(\text{W}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$
FeMo_2C_6	溶	溶	溶	溶	溶	溶					M_{23}C_6 、 $(\text{Mo}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$
WC				无限		不溶	不溶	不溶	不溶	不溶	
MoC				60~70 原子	无限						
W_2C			≈ 50	无限							
Mo_2C			≈ 50		无限						
VC				多 分子	85~90 分子	50~57 原子	无限	无限	1 原子	无限	V_4C_3
NbC				溶 分子	75~80 分子	无限	52~56 原子	无限	无限	无限	Nb_4C_3
TaC				溶 分子	75~80 分子	无限	无限	50~55 原子	无限	无限	
ZrC				溶 分子	60~65 分子	5 原子	无限	无限	50~67 原子	无限	
TiC			溶	溶	92 分子	无限	无限	无限	无限	50~75 原子	M_6C 、 $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ (W, Fe) $_6\text{C}$
$\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$	溶		溶	溶	溶	溶					M_6C 、 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$
$\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{C}$	溶		溶	溶	溶	溶					$(\text{Mo}, \text{Fe})_6\text{C}$

注: 1. 只填数字者为质量分数;

2. 原子者为摩尔分数(原子)%;

3. 分子者为摩尔分数(分子)%。

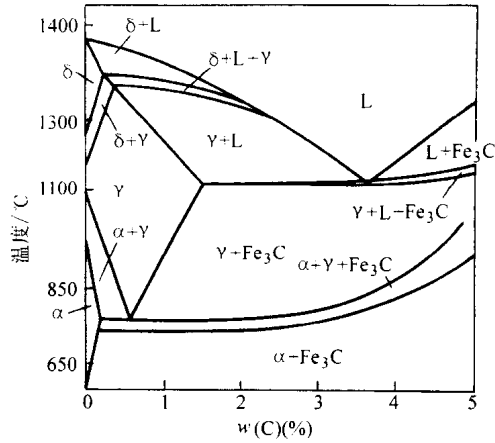


图 1-2 Fe-Fe₃C-Si 三元合金相图
(w(Si) = 2%)

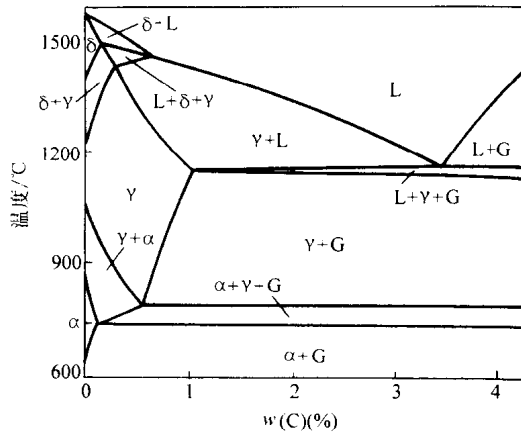


图 1-3 Fe-C-Si 三元合金相图
(w(Si) = 2.4%)

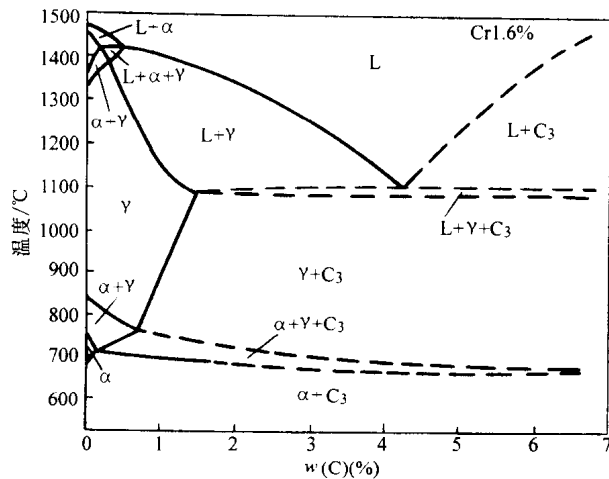


图 1-4 Fe-Fe₃C-Cr 三元合金相图
(w(Cr) = 1.6%)