

实用热处理 技术及应用

马伯龙 编著

第2版

内容系统实用

图表清晰易查

实例典型丰富



SHIYONG RECHULI JISHU JI YINGYONG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实用热处理技术及应用

第 2 版

马伯龙 编著



机械工业出版社

本书全面系统地介绍了各种热处理技术,并以丰富的实例阐述了各种热处理技术的应用。其主要内容包括:热处理基础工艺及其应用,多元共渗化学热处理工艺及其应用,热处理先进工艺拓展应用,热处理内应力、裂纹和变形,热处理工艺设计及其质量控制,热处理设备的操作和维护保养,热处理现场检验技术及其应用。本书附录中提供了常用的热处理实用技术数据,便于读者查阅。本书概念清晰,实例丰富,图文并茂,实用性强。

本书适于热处理工程技术人员、工人使用,也可供相关专业的在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用热处理技术及应用/马伯龙编著. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2015.3
ISBN 978-7-111-49444-7

I. ①实… II. ①马… III. ①热处理 IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 037362 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华

版式设计:常天培 责任校对:任秀丽

责任印制:刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 3 月第 2 版·第 1 次印刷

169mm×239mm · 24.25 印张 · 527 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-49444-7

定价:59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

编辑热线:010-88379734

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

《实用热处理技术及应用》出版6年了，在这6年中，热处理技术有了较大的发展，很多技术标准进行了修订，所以第1版的内容已经不能满足热处理工作者的需求。为了与时俱进，适应热处理行业发展和读者需求，决定对《实用热处理技术及应用》进行修订，出版第2版。第2版仍继续坚持第1版的特点：以传统热处理技术为基础，结合近年来热处理新技术、新工艺、新设备的发展和作者近50年的热处理生产实践体会进行编写；在编写形式上，力求概念清晰、内容完整、由浅入深，避免平铺直叙，尽量图文并茂。

修订时，全面贯彻了热处理技术相关最新标准，更新了相关内容；修正了第1版中的错误，调整了章节结构，更加方便读者阅读使用；增加了一些新颖、实用的技术内容，删去了一些陈旧和不实用的技术内容。

本书共分7章，其主要内容包括：热处理基础工艺及其应用，多元共渗化学热处理工艺及其应用，热处理先进工艺拓展应用，热处理内应力、裂纹和变形，热处理工艺设计及其质量控制，热处理设备的操作和维护保养，热处理现场检验技术及其应用。本书附录中提供了常用的热处理实用技术数据，便于读者查阅。

相对于第1版，第2版增加的主要内容如下：“热处理基础工艺及其应用”部分，增加了二段正火、等温正火、不完全退火、稳定化退火、石墨化退火，以及各种热处理工艺的常见缺陷及其对策等相关内容；“多元共渗化学热处理工艺及其应用”部分增加了QPQ处理应用实例等内容；“热处理先进工艺拓展应用”部分，增加了室温形变时效及其应用、表层复合热处理新工艺及其应用等内容；“热处理内应力、裂纹和变形”部分，增加了热处理变形的校正技术等内容；新增“热处理工艺设计及其质量控制”一章，以期热处理工作者在热处理工艺设计及热处理质量控制方面提供技术支持。

在本书编写过程中，参考了国内外同行的大量文献资料，谨向有关人员表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 热处理基础工艺及其应用	1
1.1 预备热处理工艺及其应用	1
1.1.1 普通正火	1
1.1.2 二段正火	2
1.1.3 等温正火	3
1.1.4 铸铁正火	3
1.1.5 完全退火	5
1.1.6 不完全退火	7
1.1.7 球化退火	8
1.1.8 再结晶退火	9
1.1.9 去应力退火	10
1.1.10 等温退火	12
1.1.11 稳定化退火	15
1.1.12 预防白点退火	15
1.1.13 扩散退火	17
1.1.14 石墨化退火	18
1.1.15 可锻化退火	19
1.1.16 预备热处理常见缺陷及其对策	20
1.2 整体（或局部）淬火工艺及其应用	21
1.2.1 普通淬火	21
1.2.2 亚温淬火	25
1.2.3 二次淬火	25
1.2.4 快速加热循环淬火	26
1.2.5 局部淬火	27
1.2.6 预冷淬火	28
1.2.7 单介质淬火	30
1.2.8 双介质淬火	30
1.2.9 分级淬火	32
1.2.10 等温淬火	36
1.2.11 复合等温淬火	38
1.2.12 喷液淬火	39
1.2.13 固溶处理	40
1.2.14 水韧处理	44

1.2.15 索氏体化处理	45
1.2.16 整体淬火常见缺陷及其对策	47
1.3 回火工艺及其应用	48
1.3.1 普通回火	48
1.3.2 自回火	51
1.3.3 快速回火	53
1.3.4 整体回火常见缺陷及其对策	54
1.4 调质处理工艺及其应用	55
1.5 表面淬火工艺及其应用	58
1.5.1 火焰淬火	58
1.5.2 电解液淬火	60
1.5.3 接触电阻加热淬火	61
1.5.4 感应淬火	63
1.5.5 激光淬火	67
1.5.6 电子束淬火	68
1.5.7 表面淬火常见缺陷及其对策	69
1.6 化学热处理工艺及其应用	70
1.6.1 固体渗碳	71
1.6.2 液体渗碳	74
1.6.3 气体渗碳	75
1.6.4 膏剂渗碳	79
1.6.5 局部渗碳	80
1.6.6 气体渗氮	81
1.6.7 局部渗氮	84
1.6.8 离子渗氮	85
1.6.9 渗铬	86
1.6.10 渗铝	87
1.6.11 渗锌	89
1.6.12 渗硼	90
1.6.13 渗硫	92
1.6.14 渗硅	93
1.6.15 渗钒	95
1.6.16 化学热处理常见缺陷及其对策	96
1.7 淬火工件冷处理工艺及其应用	101
1.8 人工时效工艺及其应用	103
1.8.1 精密工件人工时效	103
1.8.2 铸件人工时效	104
第2章 多元共渗化学热处理工艺及其应用	106
2.1 以碳氮为基的多元共渗及其应用	106

2.1.1 碳氮共渗	106
2.1.2 氮碳共渗	112
2.1.3 硼氮碳共渗	120
2.1.4 氧氮碳共渗	121
2.1.5 钛氮碳共渗	123
2.1.6 硫氮碳共渗	123
2.2 以硫氮为基的多元共渗及其应用	125
2.2.1 硫氮共渗	125
2.2.2 氧硫氮共渗	126
2.3 以铬为基的多元共渗及其应用	126
2.3.1 铬铝、铬硅和铝硅共渗	126
2.3.2 铬铝硅共渗	128
2.3.3 铬钒共渗	128
2.4 以硼为基的多元共渗及其应用	129
2.4.1 硼氮共渗	129
2.4.2 硼铝、硼硅共渗	129
2.4.3 硼与其他元素的共渗	130
2.5 气相沉积工艺及其应用	130
2.5.1 物理气相沉积碳氮化合物	131
2.5.2 化学气相沉积碳氮化合物	131
2.5.3 等离子体增强化学气相沉积碳氮化合物	133
2.6 固体和盐浴覆层工艺及其应用	133
2.6.1 碳化物覆层工艺	134
2.6.2 镍磷覆层工艺	134
第3章 热处理先进工艺拓展应用	136
3.1 快速加热法及其应用	136
3.1.1 炉内整体加热方法概述	136
3.1.2 大锻件在反射炉中快速加热	137
3.1.3 机械零件在箱式炉中快速加热	138
3.1.4 工模具在盐浴炉中快速加热	140
3.2 新型淬火冷却介质的特性和应用	141
3.2.1 淬火冷却介质概述	141
3.2.2 几种水基新型淬火冷却介质技术特性及其应用	142
3.2.3 新型淬火油的技术特性及应用	144
3.2.4 分级和等温淬火冷却介质的特性及其应用	145
3.3 热处理强韧化工艺及其应用	146
3.3.1 热处理强韧化工艺概述	146
3.3.2 低碳钢的强韧化工艺及其应用	147

3.3.3 中碳钢的强韧化工艺及其应用	149
3.3.4 高碳钢的强韧化工艺及其应用	152
3.4 过冷奥氏体稳定化及促变工艺的应用	155
3.4.1 过冷奥氏体稳定化及促变概述	155
3.4.2 高速钢刀具的过冷奥氏体稳定化及促变工艺	155
3.4.3 高合金钢模具的过冷奥氏体稳定化及促变工艺	156
3.5 复合分级或等温淬火的应用	158
3.5.1 复合分级或等温淬火概述	158
3.5.2 复合分级或等温淬火在模具上的应用	159
3.5.3 复合分级或等温淬火在刀具上的应用	161
3.5.4 复合分级或等温淬火在大型零件上的应用	163
3.6 形变热处理及其应用	164
3.6.1 形变热处理概述	164
3.6.2 高温形变淬火及其应用	165
3.6.3 亚温形变淬火及其应用	166
3.6.4 锻轧余热热处理及其应用	167
3.6.5 低温形变热处理及其应用	168
3.6.6 室温形变时效及其应用	169
3.7 表面复合热处理新工艺及其应用	171
3.7.1 表面热处理新工艺及其应用	171
3.7.2 化学热处理新工艺及其应用	173
第4章 热处理内应力、裂纹和变形	175
4.1 热处理内应力	175
4.1.1 热处理内应力的类型	175
4.1.2 影响热处理内应力的主要因素	176
4.1.3 产生淬火裂纹的主要原因	179
4.1.4 回火对淬火内应力的消减作用	179
4.2 热处理裂纹	181
4.2.1 淬火裂纹的类型及特征	181
4.2.2 淬火裂纹的实质	183
4.2.3 淬火裂纹的影响因素	184
4.2.4 防止形成淬火裂纹的措施	192
4.2.5 淬火裂纹的补救方法	198
4.2.6 淬火裂纹问题的分析总结	199
4.3 热处理变形	200
4.3.1 热处理变形的类型及特征	200
4.3.2 热处理变形的一般规律	201
4.3.3 热处理变形的影响因素	203
4.3.4 控制和减小热处理变形的措施	211

4.3.5 热处理变形问题的分析总结	215
4.4 热处理变形的校正技术	218
4.4.1 常用的热处理变形校正方法	218
4.4.2 冷态校正	219
4.4.3 热态校正	221
4.4.4 淬火态校正	223
4.4.5 回火态校正	225
第5章 热处理工艺设计及其质量控制	227
5.1 热处理工艺设计原则	227
5.1.1 热处理工艺的先进性	227
5.1.2 热处理工艺的合理性	227
5.1.3 热处理工艺的经济性	228
5.1.4 热处理工艺的安全性	229
5.1.5 热处理工艺的可行性	229
5.1.6 热处理工艺的可检性	230
5.1.7 热处理工艺的标准化	230
5.2 热处理工艺设计过程和步骤	231
5.2.1 热处理工艺设计的依据	231
5.2.2 热处理工艺设计的基本内容	232
5.2.3 热处理工艺设计前的技术分析	234
5.2.4 热处理工艺方案的制订	236
5.2.5 整体热处理工艺参数的确定	238
5.2.6 热处理辅助工序及其工艺守则	242
5.2.7 零件简图的用途及绘制	244
5.2.8 热处理设备的选用	245
5.2.9 热处理工艺装备的设计	245
5.2.10 热处理劳动定额的确定方法	248
5.2.11 热处理工艺文件的编写	248
5.2.12 热处理工艺的验证及调整	256
5.3 热处理工艺设计过程的质量控制	257
5.3.1 热处理质量管理体系	258
5.3.2 影响热处理质量的因素	260
5.3.3 热处理工艺设计的工作质量要求	261
5.3.4 热处理工艺设计的质量控制程序	264
第6章 热处理设备的操作和维护保养	265
6.1 炉膛式热处理电阻炉的操作和维护保养	265
6.1.1 箱式和井式热处理电阻炉	265
6.1.2 井式气体渗碳和渗氮炉	266
6.2 浴槽式热处理电阻炉的操作和维护保养	267

6.2.1 低温浴槽式电阻炉	267
6.2.2 内热式电极加热盐浴炉	268
6.3 流态粒子炉的操作和维护保养	270
6.4 热处理燃料炉的操作和维护保养	271
6.5 热处理连续作业炉的操作和维护保养	273
6.5.1 推杆式连续炉	273
6.5.2 振底式连续炉	274
6.5.3 输送带式连续炉	275
6.6 真空炉的操作和维护保养	275
6.6.1 真空炉的操作规程	276
6.6.2 真空热处理炉的维护和日常保养	278
6.7 离子轰击热处理炉的操作和维护保养	279
6.8 感应加热装置的操作和维护保养	280
6.8.1 高频加热装置	280
6.8.2 中频加热装置	282
6.8.3 工频加热装置	285
6.9 火焰淬火装置的操作和维护保养	285
6.10 可控气氛发生装置的操作和维护保养	286
6.11 常用冷却设备的操作和维护保养	289
6.11.1 淬火冷却设备	289
6.11.2 常用的冷处理装置	290
第7章 热处理现场检验技术及其应用	291
7.1 硬度检测	291
7.1.1 硬度检测的基本特点	291
7.1.2 布氏硬度检测	291
7.1.3 洛氏硬度检测	294
7.1.4 维氏硬度检测	297
7.1.5 肖氏硬度和里氏硬度检测	298
7.1.6 硬度的锉刀检测法	299
7.2 退火与正火金相组织检测	301
7.3 淬火与回火金相组织检测	302
7.3.1 马氏体金相组织检测	302
7.3.2 贝氏体与托氏体及索氏体与铁素体金相组织检测	306
7.3.3 钢的晶粒度检测	309
7.4 表面淬火硬化层深度及金相组织检测	312
7.4.1 表面淬火硬化层深度检测	312
7.4.2 表面淬火硬化层金相组织检测	314
7.5 化学热处理渗层深度及金相组织检测	316

7.5.1 渗碳层和碳氮共渗层深度及金相组织检测	316
7.5.2 渗氮层和氮碳共渗层深度及金相组织检测	325
7.5.3 渗铝层深度及金相组织检测	333
7.5.4 渗硼层深度及金相组织检测	334
7.5.5 渗金属层深度及金相组织检测	335
7.6 不良金相组织检测	337
7.6.1 钢的过热和过烧组织	337
7.6.2 高速钢和高铬钢的不良组织	338
7.6.3 碳素工具钢和合金工具钢的不良组织	342
7.6.4 脱碳层及其深度检测	344
7.7 热处理裂纹和变形的检测	345
7.7.1 热处理裂纹的检测	345
7.7.2 热处理变形的检测	345
7.8 生产现场材料化学成分的检测	346
7.8.1 钢的化学成分火花鉴别法	346
7.8.2 热处理用盐的成分控制和调整	349
附录	351
附录 A 常用钢的临界温度	351
附录 B 热处理加热时间计算法	356
附录 C 典型毛坯、零件的加工预留余量及热处理允许变形量	357
附录 D 典型工模具的热处理允许变形量	361
附录 E 钢件加热时火色与回火色	366
附录 F 压痕直径与布氏硬度值 (HBW) 对照表	366
附录 G 压痕对角线长度与维氏硬度值 (HV10) 对照表	369
参考文献	375

第 1 章 热处理基础工艺及其应用

1.1 预备热处理工艺及其应用

预备热处理是指为调整原始组织，以保证工件最终热处理或（和）切削加工性能，预先进行的热处理，主要包括各种正火和退火。

1.1.1 普通正火

正火是将工件加热奥氏体化后在空气中或其他介质中冷却获得以珠光体组织为主的热处理工艺。一般情况下，正火是指普通正火。普通正火是将钢材或钢件加热到临界点（ A_{c3} 或 $A_{c_{cm}}$ ）以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温适当时间后在空气中或其他介质中冷却，获得珠光体类型组织的热处理工艺。

1. 适用范围

该工艺适用于改善亚共析钢的可加工性和消除过共析钢中的网状碳化物，以及改善有效截面尺寸较大工件的淬透深度。

2. 技术要求

- 1) 晶粒细化，组织均匀化。
- 2) 对于半成品，正火后表面脱碳层深度不应超过加工余量的 $1/2$ 。
- 3) 降低内应力，并获得一定的硬度。

3. 操作守则

1) 正火加热过程除严格控制温度和时间外，应尽量减轻钢件的表面氧化脱碳。氧化脱碳层深度不得大于毛坯加工留量的 $1/2$ 。毛坯的具体加工留量参照附录 C。

2) 对于为了挽救某些粗大组织而实施的正火，其加热温度应较普通正火加热温度高 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

3) 对于料堆较大或截面尺寸较大的钢材或毛坯，为了得到均匀化的组织和提高力学性能，加热后允许用吹风或雾冷方式强化冷却速度。

4) 对于改善不良组织的高温正火，或某些高碳钢正火后若硬度偏高，为便于切削加工，可以补充高温回火。

5) 对于大锻件，为了细化和均匀晶粒，可采用多次正火（ $2 \sim 3$ 次）。常用两次正火：第一次奥氏体化的温度较高 [$A_{c3} + (100 \sim 160^\circ\text{C})$] 以割断原始（铸态）组织中粗大晶粒与新生晶粒之间的联系，但这时所得奥氏体晶粒仍较粗大；第二次奥氏体化温度较低 [$A_{c3} + (25 \sim 50^\circ\text{C})$]，以得到较细晶粒。对含有稳定碳化物的钢种（如 CrMoV 钢），第二次奥氏体化时还应使碳化物大部分溶解，在其后的冷却过程中依靠未溶细小

碳化物作为核心而得到较细的托氏体组织。

4. 具体应用

表 1-1 所示为碳素钢和部分合金结构钢的正火加热温度及其不同直径工件的硬度。

表 1-1 碳素钢和部分合金结构钢的正火加热温度及其不同直径工件的硬度

牌 号	温度/℃	直径/mm			
		12.0	25.0	50	100
		正火后的硬度 HBW			
15	930	126	121	116	116
20	930	131	131	126	121
20Mn	930	143	143	137	131
30	930	156	149	137	137
40	900	183	170	167	167
50	900	223	217	212	201
60	900	229	229	223	223
80	900	293	293	285	269
12Cr2Ni4	890	269	262	252	248
40Mn2	870	269	248	235	235
30CrMo	870	217	197	167	163
42CrMo	870	302	302	285	241
50CrMo	870	375	321	311	293
40CrNiMoA	870	388	363	341	321
40Cr	870	235	229	223	217
50Cr	870	262	255	248	241
55Si2MnA	900	277	269	269	269

1.1.2 二段正火

二段正火是将工件加热奥氏体化后，在静止的空中冷却到 A_{r1} 温度附近即转入炉中缓慢冷却的正火，又称分级正火。

1. 适用范围

该工艺适用于形状结构比较复杂，且要求正火后变形较小的工件。

2. 技术要求

- 1) 晶粒细化。
- 2) 表面脱碳层不得超过工艺规定。
- 3) 降低内应力，获得较低的硬度。
- 4) 变形量不得超过工艺文件的规定。

3. 操作守则

- 1) 正火加热过程除严格控制温度和时间外，应尽量减轻工件的表面氧化脱碳。

2) 对于料堆较大或截面尺寸较大的钢材或毛坯, 为了组织均匀化和提高力学性能, 加热后散开并空冷到所处理钢的 A_{r1} 附近温度, 最后在炉中或缓冷坑中冷却到室温。

1.1.3 等温正火

等温正火是将工件加热奥氏体化后, 采用强制吹风快冷到珠光体转变区的某一温度并保温, 以获得珠光体型组织, 然后在空气中冷却的正火。

1. 适用范围

该工艺适用于形状结构很复杂, 且要求具有较好可加工性和力学性能的工件。常用于某些碳素钢、低合金钢工件在淬火返修时去除应力和细化组织, 以使重新淬火时能减少和防止开裂。

2. 技术要求

- 1) 晶粒细化, 组织均匀。
- 2) 表面脱碳层不得超过工艺规定。
- 3) 降低内应力, 获得均匀一致的力学性能。

3. 操作守则

- 1) 正火加热过程除严格控制温度和时间外, 应尽量减轻钢件的表面氧化脱碳。
- 2) 对于料堆较大或截面尺寸较大的钢材或毛坯, 为了组织均匀化和提高力学性能, 加热后散开并用热风均匀吹冷到所处理钢的等温转变图中 C 曲线鼻尖温度进行恒温保持, 直至转变结束, 最后空冷到室温。

4. 具体应用

20CrMnTi 钢锻件形状复杂, 要求具有良好的可加工性, 组织为先共析铁素体和均匀分布的细片状珠光体组织, 硬度为 160 ~ 180HBW。该锻件的等温正火生产线为: 装料厚度 150mm, 加热温度 920 ~ 960℃, 加热保温时间为 150min, 在冷却室强制风冷 < 15min, 冷至 620 ~ 630℃ 入炉中保温 25min, 出炉风冷 60min, 温度降至 300℃ 左右空冷和卸料。

1.1.4 铸铁正火

铸铁正火是为了增加铸铁件基体组织中的珠光体数量, 从而改善其力学性能而进行的正火。铸铁正火分为完全奥氏体化正火 (正火温度一般为 900 ~ 960℃) 和部分奥氏体化正火 (正火温度一般为 840 ~ 860℃)

1. 适用范围

铸铁正火常用于改善灰铸铁、球墨铸铁的力学性能, 或为其表面淬火做好组织准备, 同时也起到消除铸态白口的作用。

2. 技术要求

- 1) 晶粒细化。
- 2) 铸铁件经完全奥氏体化正火获得以珠光体为主的基体组织, 经部分奥氏体化正

火获得珠光体和铁素体的基体组织。

3) 降低内应力, 获得较高的强度、硬度和耐磨性。

3. 操作守则

1) 结构复杂的铸件升温速度尽可能小些, 对于一般实体或形状简单的铸件, 升温速度可快些。

2) 保证铸件各部分均匀加热到所需温度, 使组织均匀化。

3) 加热过程严防氧化脱碳, 其脱碳层不得超过加工余量的 1/2。

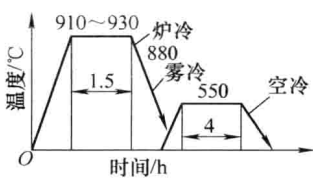
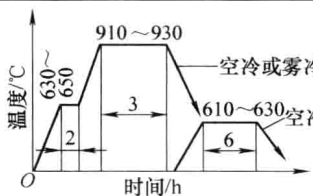
4) 根据铸铁件的形状、大小, 可选择在静止空气冷却和鼓风冷却。

5) 正火后铸铁件中存在较大的内应力, 一般还必须进行一次以去除内应力为目的的回火。回火温度一般为 550 ~ 650℃。

4. 具体应用

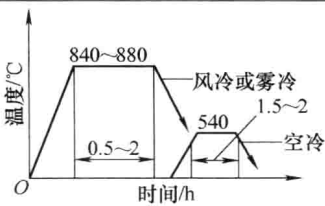
1) 表 1-2 所示为球墨铸铁完全奥氏体化正火工艺举例。

表 1-2 球墨铸铁完全奥氏体化正火工艺举例

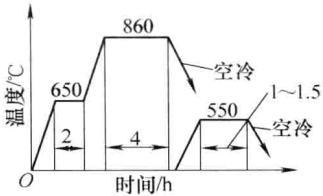
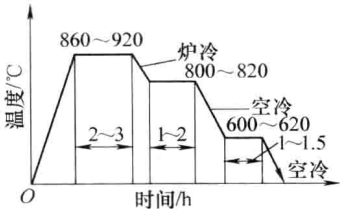
铸件名称	化学成分 (质量分数, %)	工艺曲线	力学性能
汽车曲轴	C3.6 ~ 3.7 Si2.4 ~ 2.8 Mn0.7 ~ 0.9		$R_m = 800 \sim 900 \text{ MPa}$ $A > 2.0\%$ $a_K = 12 \sim 15 \text{ J/cm}^2$ 240 ~ 270HBW
压缩机大型曲轴	C3.1 ~ 3.6 Si2.6 ~ 2.9 Mn0.6 ~ 0.8		$R_m = 650 \sim 800 \text{ MPa}$ $A = 4\% \sim 8\%$ $a_K = 15 \sim 50 \text{ J/cm}^2$ 220 ~ 255HBW

2) 表 1-3 所示为球墨铸铁不完全奥氏体化正火工艺举例。

表 1-3 球墨铸铁不完全奥氏体化正火工艺举例

铸件名称	化学成分 (质量分数, %)	工艺曲线	力学性能
190、195 柴油机曲轴	C3.0 ~ 3.2 Si2.8 ~ 3.1 Mn0.6 ~ 0.8 P0.06 ~ 0.07 S0.02 ~ 0.03		$R_m = 770 \sim 930 \text{ MPa}$ $A = 3.8\% \sim 8.2\%$ $a_K = 25 \sim 26 \text{ J/cm}^2$ 229 ~ 277HBW

(续)

铸件名称	化学成分 (质量分数,%)	工艺曲线	力学性能
大型船用空 心曲轴	C3.8~3.9 Si2.2~2.4 Mn0.6~0.8		$R_m = 780 \sim 850 \text{ MPa}$ $A = 2\% \sim 2.5\%$ $a_K = 20 \sim 30 \text{ J/cm}^2$
曲轴、连 杆、齿轮等	C3.7~3.9 Si2.2~2.4 Mn0.6~0.8 P<0.1 S<0.04		$R_m = 700 \sim 840 \text{ MPa}$ $A = 2\% \sim 5\%$ $a_K = 16 \sim 22 \text{ J/cm}^2$ 215~254HBW

1.1.5 完全退火

完全退火是将钢材或零件毛坯加热到临界点 (Ac_3 或 Ac_{cm}) 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温适当时间后，即完全奥氏体化后随炉降温缓慢冷却，获得珠光体和先析出相（铁素体或渗碳体）类型组织的热处理工艺。

1. 适用范围

完全退火适用于各种碳素钢和合金钢的软化处理。

2. 技术要求

- 1) 完全退火后，钢的显微组织：亚共析钢为片状珠光体 + 铁素体；共析钢为单一的片状珠光体；过共析钢为片状珠光体 + 渗碳体。
- 2) 降低硬度，一般根据钢种确定具体硬度。

3. 操作守则

- 1) 完全退火加热过程除严格控制温度和时间外，应尽量减轻钢件的表面氧化脱碳。氧化脱碳层深度不得大于毛坯加工留量的 $1/2$ 。毛坯的具体加工留量见附录 C。
- 2) 完全退火加热保温后，大量装炉时，应随炉冷却或限制一定的冷却速度及出炉温度；单件或小批生产时，可加热保温后出炉掩埋在白灰或草木灰中缓冷。

4. 具体应用

- 1) 常用结构钢的完全退火加热温度与硬度见表 1-4。

表 1-4 常用结构钢的完全退火加热温度与硬度

牌 号	温度/℃	退火后的硬度 HBW
35	850 ~ 880	≤187
45	820 ~ 840	≤207
35CrMo	830 ~ 850	197 ~ 229
40Cr	840 ~ 860	≤207
40MnB	820 ~ 860	≤207
40CrNiMo	840 ~ 880	197 ~ 229
42CrMo	810 ~ 870	197 ~ 229
50CrVA	810 ~ 870	179 ~ 255
65Mn	790 ~ 840	197 ~ 229
60Si2MnA	840 ~ 860	184 ~ 255
38CrMoAl	900 ~ 930	≤229

其冷却速度：碳钢为 200℃/h 左右；低合金钢应不大于 100℃/h；高合金钢应不大于 50℃/h 为宜。

2) 铸钢件的完全退火工艺规程见表 1-5。

表 1-5 铸钢件的完全退火工艺规程

钢 种		有效尺寸 /mm	装 炉		650 ~ 700℃		700℃ ~ 退火温度		冷却速度 / (℃/h)	出炉温度 /℃
			温度 /℃	保温时间 /h	升温速度 / (℃/h)	保温时间 /h	升温速度 / (℃/h)	保温时间 /h		
铸造碳钢	ZG200-400	< 200	≤650	—	—	2	120	1 ~ 2	≥120	450
	ZG230-450 ZG270-500	201 ~ 500	400 ~ 500	2	70	3	100	2 ~ 5	≥120	400
	ZG200-400	510 ~ 800	300 ~ 350	3	60	4	80	5 ~ 8	≥120	350
	ZG230 ~ 450	801 ~ 1200	260 ~ 300	4	40	5	60	8 ~ 12		300
	ZG270-500	1201 ~ 1500	≤200	5	30	6	50	12 ~ 15		250
	ZG310-570	< 200	400 ~ 500	2	80	3	100	1 ~ 2		350
铸造低合金钢	ZGD650-830 (ZG20SiMn) ZG35Cr1Mo (ZG35CrMo)	< 200	400 ~ 500	2	80	3	100	1 ~ 2	≥80	350
	ZGD840-1030 (ZG35SiMn) ZG35SiMnMo	201 ~ 500	250 ~ 350	3	60	4	80	2 ~ 5	≥80	350
	ZG35CrMnSi	501 ~ 800	200 ~ 300	4	50	5	60	5 ~ 8	≥80	300
	ZG55CrMnMo	501 ~ 1000	≤200	4	30	5 ~ 8	50	5 ~ 10		200