

实用 热处理技术 及应用

马伯龙 王建林 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实用热处理技术及应用

马伯龙 王建林 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。内容包括:热处理基础工艺及应用、热处理裂纹和变形、整体热处理先进工艺拓展应用、多元共渗化学热处理工艺及其应用、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,王建林编著. —北京:机械工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-111-25819-3

I. 实… II. ①马…②王… III. 热处理 IV. TG156

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第202335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:陈保华 版式设计:张世琴 责任校对:李 婷

封面设计:姚 毅 责任印制:李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2009年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm • 21.25印张 • 412千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25819-3

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379734

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国机械工业的迅猛发展和技术水平日益提高,各行业对机械产品的使用性能、可靠性及使用寿命提出了更高要求。热处理是确保机械产品的使用性能、可靠性及使用寿命的重要工序。为了充分发挥热处理技术的作用,指导热处理工作人员规范操作、正确操作,更好地解决热处理生产中的实际问题,我们编写了这本《实用热处理技术及应用》。

本书是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 年的现场实践体会编写而成的。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。

本书共分 7 章。

在第 1 章绪论中,简明扼要地介绍了热处理在机械行业中的作用、热处理实质及其工艺特点、金属材料与热处理工艺的关系、力学性能与组织结构的关系。

第 2 章介绍了热处理基础工艺及应用。对每种热处理工艺操作,均按适用范围、技术要求、操作守则和具体应用的程序进行叙述,旨在使读者对每种工艺操作都有较完整、全面的了解。

第 3 章全面系统地分析了热处理应力、裂纹和变形的种类及其特点,并以大量的实例分析了热处理裂纹和变形的影响因素、预防措施和挽救方法等。

第 4、5 章分别介绍了整体热处理先进工艺和多元共渗化学热处理工艺,并用丰富的实例介绍了这些热处理工艺在实际生产中的应用。

第 6 章介绍了炉膛式热处理电阻炉、浴槽式热处理电阻炉、热处理燃料炉、热处理连续作业炉、真空炉、离子轰击热处理炉、感应加热装置、火焰淬火装置、可控气氛发生装置等常用热处理设备的操作和维护保养技术。

第 7 章重点介绍了热处理生产现场广泛使用的硬度检测和金相组织检测技术。

本书主要由马伯龙高级工程师编写。王建林工程师参加了书稿的部分编写,并在图、表的制作方面做了大量工作。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 绪论	1
第2章 热处理基础工艺及应用	4
2.1 预备热处理工艺及应用	4
2.1.1 正火	4
2.1.2 完全退火	7
2.1.3 球化退火	8
2.1.4 再结晶退火	9
2.1.5 低温退火	10
2.1.6 等温退火	11
2.1.7 预防白点退火	15
2.1.8 均匀化退火	15
2.1.9 可锻化退火	17
2.2 调质处理工艺及应用	19
2.3 整体(或局部)淬火工艺及应用	23
2.3.1 普通淬火	24
2.3.2 亚温淬火	26
2.3.3 二次淬火	26
2.3.4 快速加热循环淬火	28
2.3.5 局部淬火	29
2.3.6 预冷淬火	30
2.3.7 单介质淬火	31
2.3.8 双介质淬火	32
2.3.9 马氏体分级淬火	33
2.3.10 马氏体等温淬火	38
2.3.11 贝氏体等温淬火	39
2.3.12 复合等温淬火	42
2.3.13 喷液淬火	43
2.3.14 固溶处理	45
2.3.15 水韧处理	49
2.3.16 索氏体化处理	51
2.4 回火工艺及应用	53

2.4.1 普通回火	53
2.4.2 自回火	56
2.4.3 快速回火	59
2.5 表面淬火工艺及应用	60
2.5.1 火焰淬火	60
2.5.2 电解液淬火	62
2.5.3 接触电阻加热淬火	63
2.5.4 感应淬火	65
2.5.5 激光淬火	68
2.5.6 电子束淬火	69
2.6 化学热处理工艺及应用	71
2.6.1 固体渗碳	71
2.6.2 液体渗碳	75
2.6.3 气体渗碳	76
2.6.4 膏剂渗碳	80
2.6.5 局部渗碳	81
2.6.6 普通渗氮	82
2.6.7 局部渗氮	86
2.6.8 离子渗氮	87
2.6.9 渗铬	88
2.6.10 渗铝	89
2.6.11 渗锌	91
2.6.12 渗硼	92
2.6.13 渗硫	95
2.6.14 渗硅	96
2.6.15 渗钒	98
2.7 淬火工件冷处理工艺及应用	99
2.8 人工时效工艺及应用	101
2.8.1 精密零件人工时效	101
2.8.2 铸件人工时效	102
第3章 热处理裂纹和变形	105
3.1 热处理内应力	105
3.1.1 热处理内应力的类型	105
3.1.2 影响热处理内应力的主要因素	106
3.1.3 产生淬火裂纹的主要原因	109
3.1.4 回火对淬火内应力的消减作用	110
3.2 热处理裂纹	112
3.2.1 淬火裂纹的类型及特征	112

3.2.2 淬火裂纹的实质	114
3.2.3 淬火裂纹的影响因素	115
3.2.4 防止形成淬火裂纹的措施	124
3.2.5 淬火裂纹的补救方法	130
3.2.6 淬火裂纹问题的分析总结	132
3.3 热处理变形	133
3.3.1 热处理变形的类型及特征	133
3.3.2 热处理变形的一般规律	134
3.3.3 热处理变形的影响因素	136
3.3.4 控制和减小热处理变形的措施	144
3.3.5 热处理变形问题的分析总结	149
第4章 整体热处理先进工艺拓展应用	153
4.1 快速加热法及其应用	153
4.1.1 炉内整体加热方法概述	153
4.1.2 大锻件在反射炉中快速加热	154
4.1.3 机械零件在箱式炉中快速加热	155
4.1.4 工模具在盐浴炉中快速加热	158
4.2 新型淬火冷却介质的特性和应用	159
4.2.1 淬火冷却介质概述	159
4.2.2 几种水基新型淬火介质技术特性及其应用	160
4.2.3 新型淬火油的技术特性及应用	162
4.2.4 分级和等温淬火介质的特性及其应用	163
4.3 热处理强韧化工艺及其应用	164
4.3.1 热处理强韧化工艺概述	164
4.3.2 低碳钢的强韧化工艺及其应用	165
4.3.3 中碳钢的强韧化工艺及其应用	167
4.3.4 高碳钢的强韧化工艺及其应用	171
4.4 过冷奥氏体稳定化及促变工艺的应用	174
4.4.1 过冷奥氏体稳定化及促变概述	174
4.4.2 高速钢刀具的过冷奥氏体稳定化及促变工艺	174
4.4.3 高合金钢模具的过冷奥氏体稳定化及促变工艺	176
4.5 复合分级或等温淬火的应用	177
4.5.1 复合分级或等温淬火概述	177
4.5.2 复合分级或等温淬火在模具上的应用	178
4.5.3 复合分级或等温淬火在刀具上的应用	181
4.5.4 复合分级或等温淬火在大型零件上的应用	182
4.6 形变热处理及其应用	183
4.6.1 形变热处理概述	183

4.6.2	高温形变淬火及其应用	184
4.6.3	亚温形变淬火及其应用	186
4.6.4	锻轧余热热处理及其应用	186
4.6.5	低温形变热处理及其应用	188
第5章 多元共渗化学热处理工艺及其应用		190
5.1	以碳氮为基的多元共渗及其应用	190
5.1.1	碳氮共渗	190
5.1.2	氮碳共渗	196
5.1.3	硼氮碳共渗	205
5.1.4	氧氮碳共渗	206
5.1.5	钛氮碳共渗	207
5.1.6	硫氮碳共渗	207
5.2	以硫氮为基的多元共渗及其应用	209
5.2.1	硫氮共渗	209
5.2.2	氧硫氮共渗	210
5.3	以铬为基的多元共渗及其应用	210
5.3.1	铬铝、铬硅和铝硅共渗	211
5.3.2	铬铝硅共渗	212
5.3.3	铬钒共渗	213
5.4	以硼为基的多元共渗及其应用	213
5.4.1	硼氮共渗	213
5.4.2	硼铝、硼硅共渗	214
5.4.3	硼与其他元素的共渗	215
5.5	气相沉积工艺及其应用	215
5.5.1	物理气相沉积碳氮化合物	215
5.5.2	化学气相沉积碳氮化合物	216
5.5.3	等离子体增强化学气相沉积碳氮化合物	218
5.6	固体和盐浴覆层工艺及其应用	219
5.6.1	碳化物覆层工艺	219
5.6.2	镍磷覆层工艺	220
第6章 热处理设备的操作和维护保养		221
6.1	炉膛式热处理电阻炉的操作和维护保养	221
6.1.1	箱式和井式热处理电阻炉	221
6.1.2	井式气体渗碳和渗氮炉	222
6.2	浴槽式热处理电阻炉的操作和维护保养	224
6.2.1	低温浴槽式电阻炉	224
6.2.2	内热式电极加热盐浴炉	225

6.3	热处理燃料炉的操作和维护保养	226
6.4	热处理连续作业炉的操作和维护保养	229
6.4.1	推杆式连续炉	229
6.4.2	振底式连续炉	230
6.4.3	输送带式连续炉	231
6.5	真空炉的操作和维护保养	231
6.5.1	真空炉的操作规程	231
6.5.2	真空热处理炉的维护和日常保养	234
6.6	离子轰击热处理炉的操作和维护保养	235
6.7	感应加热装置的操作和维护保养	236
6.7.1	高频加热装置	236
6.7.2	中频加热装置	238
6.7.3	工频加热装置	241
6.8	火焰淬火装置的操作和维护保养	242
6.9	可控气氛发生装置的操作和维护保养	243
6.10	常用冷却设备的操作和维护保养	246
6.10.1	淬火冷却设备	246
6.10.2	常用的冷处理装置	247
第7章	热处理现场检验技术及其应用	248
7.1	硬度检测	248
7.1.1	硬度检测的基本特点	248
7.1.2	布氏硬度检测	248
7.1.3	洛氏硬度检测	251
7.1.4	维氏硬度检测	255
7.1.5	肖氏硬度和里氏硬度检测	256
7.1.6	硬度的锉刀检测法	258
7.2	退火及正火金相组织检测	259
7.3	淬火及回火金相组织检测	260
7.3.1	马氏体金相组织检测	260
7.3.2	贝氏体\托氏体和索氏体\铁素体金相组织检测	264
7.3.3	钢的晶粒度检测	267
7.4	表面淬火硬化层深度及金相组织检测	270
7.4.1	表面淬火硬化层深度检测	270
7.4.2	表面淬火硬化层金相组织检测	272
7.5	化学热处理渗层深度及金相组织检测	274
7.5.1	渗碳层和碳氮共渗层深度及金相组织检测	274
7.5.2	渗氮层和氮碳共渗层深度及金相组织检测	283

7.5.3 渗铝层厚度及金相组织检测	291
7.5.4 渗硼层及其金相组织检测	292
7.5.5 渗金属层及其金相组织检测	293
7.6 不良金相组织检测	296
7.6.1 钢的过热和过烧组织	296
7.6.2 高速钢和高铬钢的不良组织	297
7.6.3 碳素工具钢和合金工具钢的不良组织	300
7.6.4 脱碳层及其深度检测	303
7.7 热处理裂纹和变形的检测	304
7.7.1 热处理裂纹的检测	304
7.7.2 热处理变形的检测	304
7.8 生产现场材料化学成分的检测	305
7.8.1 钢的化学成分火花鉴别法	305
7.8.2 热处理用盐的成分控制和调整	309
附录	311
附录 A 常用钢的临界温度	311
附录 B 工件加热时间计算法	315
附录 C 工件加工预留余量与热处理变形允差	317
附录 D 钢件加热时火色与回火色	320
附录 E 金属布氏硬度 (HBW) 数值表	321
附录 F 压痕对角线长度与维氏硬度值 (HV10) 对照表	323
参考文献	328

第1章 绪论

1. 热处理在机械行业中的作用

在生产过程中最常见的金属材料是钢铁材料，铝、铜、锌及它们的合金等，特别是钢铁材料在机械工业和交通运输业方面的使用量大面广，且品种繁多。由于每种材料都有各自的特性，因此人们总是根据使用需要，选择适当的材料。

每种材料的各自特性是由组成它们的化学成分所决定的。但是，很多人却忽视了工件材料及工件制作过程中热处理工序对其各种性能所发挥的不可缺少的作用。尤其是那些特殊钢（如中、高碳素钢和各种合金钢等），其性能潜力很大，如果不通过热处理将其潜在的性能发挥出来，则特殊钢与普通钢相比没有多大优势。此时的工件不可能有满意的使用性能和很高寿命。不仅如此，如果这些钢不进行正确的热处理，甚至直接使用，还会使机械运行的安全性、可靠性无法保证，而且使机械零件很快失去原有精度，导致早期报废。这是对资源的一种很大浪费。另外，在机械加工过程，热处理对各种加工工艺性的发挥有着不可替代作用，例如，改善机械加工时材料的可加工性、冲压加工时材料的可延展性，以及改善其他工序造成的一些缺陷，如消除铸、锻、焊工序造成的粗大晶粒的组织结构和内应力等。因此，热处理工序在机械制造过程中与其他工序密切相关，是提高工件质量和使用寿命的关键工序，是争得产品市场的重要环节。

2. 热处理的实质及其工艺特点

热处理的实质是通过对金属材料或其制件进行一定的加热和冷却，使其内部组织结构发生变化，从而获得预期性能的工艺方法。然而，由于加热和冷却的方法很多，各种金属内部组织结构变化的多样化，使得热处理工艺十分复杂，并具有与其他工序不同的许多自身特点。

热处理工艺从理论研究到生产实践体现着深入浅出、应用涉及面广、工艺复杂和操作技艺性强等特点。

在生产实践中人们从表面现象看，热处理只不过是加热和冷却两个简单过程而已。没有理论基础的初学者，一般不了解各种工件在被加热和冷却过程，其内部组织结构发生了怎样的变化，不了解热处理是一个深入浅出的工种。

下面，仅以“淬火”这一术语概念，从不同深度认识热处理具有深入浅出的特点。

从操作角度谈淬火的概念，就是将钢件加热到一定温度，然后急速冷却下来（一般在水或油中）的操作叫做淬火。

从组织结构角度谈淬火的概念,是将钢件加热到奥氏体组织状态,然后冷却下来获得马氏体组织状态的过程叫做淬火。

进一步从晶体结构角度谈淬火的概念,则是将钢件从常温的体心立方晶格结构加热到高温转变为面心立方晶格结构,然后冷却下来回到常温下已经发生晶格畸变,成为体心正方晶格结构的过程叫做淬火。

再从实际(有缺陷)晶体的精细结构角度谈淬火的概念又有区别,低碳马氏体组织是位错型精细结构,高碳马氏体组织是孪晶型精细结构等。

实际上,热处理的内涵远远不止于此。因此认为,欲把热处理现场工作做得更好,应当不断学习,追求深度,不能仅仅停留在肤浅的表面认识上。

热处理工艺的另一特点是,应用涉及面广。在生产实践中,热处理工序几乎分布在机械制造的全过程。例如,机械加工前原材料和铸、锻、焊件毛坯的正火、各种退火和人工时效等;机械粗加工后和半精加工前的调质、时效和去应力退火等;半精加工后和精加工前的渗碳、碳氮共渗、感应淬火或火焰淬火,以及工件的整体淬火及其回火等;精加工后的渗氮、氮碳共渗、渗各种金属或多元共渗,以及接触电阻加热淬火、激光淬火和电子束淬火等。

热处理的再一特点是工艺复杂。由于各种零部件或工模具在实际工作中的承载状态和受力情况千差万别,以及使用的各种材料品种繁多,使得热处理工艺较为复杂。例如,从工艺的角度看,W18Cr4V钢淬火温度在一般手册中推荐为 $1270\sim 1290^{\circ}\text{C}$,但是当用其制作车刀、刨刀或冷作模具时,需要根据它们的各自使用条件和受力状态而采用不同的温度加热。由于车刀是连续高速切削,要求具有很好的热硬性,实践证明采用 $1290\sim 1310^{\circ}\text{C}$ 更好;而刨刀是低速断续切削,要求具有一定的冲击韧度,采用 $1260\sim 1280^{\circ}\text{C}$ 较适当;对于冷作模具,不必考虑其热硬性,而是要求具有较好的抗弯强度和韧性,因此,采用 $1210\sim 1230^{\circ}\text{C}$ 加热淬火后低温回火则较恰当。再从工艺的复杂角度看,T10A等高碳钢淬火时,在一般手册中推荐用水作冷却介质。但是,对有效尺寸较大的工件,为提高淬透深度常采用更快的冷却速度——盐水或碱水作冷却介质;然而为减少淬火变形和防止裂纹,却要采用预冷淬火冷却、双液淬火冷却、分级淬火冷却,甚至采用多段分级或等温淬火冷却,同时伴随冷却介质的改变,还要调整淬火加热温度或改变加热方法等。随着热处理工艺的创新和发展,为强化各种机械的使用性能,热处理许多复合工艺正逐渐得到更多应用。

热处理操作技艺性强,也是其特点之一。特别是单件或小批生产情况下,利用通用设备进行工、模、量、夹具淬火时,热处理后的质量与操作者的手法、技艺熟练程度往往密切相关。如双液淬火时,工件在第一种介质中的冷却时间通常参照水中的声音和水振动时的手感,来判断合适的冷却时间;又如,复杂结构的工件在高温快速加热时,事先所计算的时间仅能供参考,实际的加热时间往往靠

经验以目测火色为准；再如，生产现场的钢材火花鉴别和工件的合理吊挂、装夹等，均靠在生产中积累的经验进行正确操作。

3. 金属材料与热处理工艺的关系

任何事物的变化欲得到预期结果，从哲理性角度认识都需要内因和外因的统一。而且前者是本质性的因素；后者是条件性的因素。金属材料与热处理工艺的关系正是这种关系，即材料成分奠定其具有怎样的组织结构和性能的内因基础；热处理工艺为组织结构和性能的转化提供外因条件。

所以说，金属材料与热处理工艺的关系是获得预期组织结构和性能的内因与外因的关系；更确切地说，是两者缺一不可的辩证统一关系。

4. 力学性能与组织结构的的关系

力学性能通常包括强度、塑性、韧性、硬度、弹性等。在实践中，每种性能都有各自的检测方法，但是除了硬度，其他性能的检测都会破坏被检测物的整体性，导致失去使用价值，因此，只适用于对原材料的试验。由于硬度检测时通常不会破坏被检测物的整体性，所以在生产过程被经常使用；而且硬度检测的实用价值还在于它的检测结果可以反映出被检测物的其他力学性能指标，即硬度与强度、塑性、韧性等都有大致的对应关系。一般地说，硬度越高，其强度也越高，而塑性、韧性越低。

不同的材料及其热处理工艺，处理后的内部组织结构不同；即使同种材料不同的热处理工艺，处理后的内部组织结构也不同，所以说，力学性能好坏只是表面现象，具有怎样的性能实质是由内部组织结构决定的。因此，力学性能与组织结构是现象与实质的关系。

不言而喻，热处理工作者只有明确所实施的热处理工艺将得到什么样的组织结构，在制订热处理工艺时才能够有的放矢；只有深入地研究材料及热处理后的组织结构，才能不断提高技术水平和进行工艺创新。

第2章 热处理基础工艺及应用

2.1 预备热处理工艺及应用

预备热处理是指经冶炼、铸造、锻造、轧制、冲压和挤压等工艺手段生产的钢材和零件半成品,为改善其力学性能和后序的工艺性能等而实施的热处理。其中,主要包括正火和各种退火。

2.1.1 正火

正火是将钢材或钢件加热到临界点(A_{c3} 或 A_{cm})以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$,保温透烧后在空气中冷却,获得珠光体类型组织结构的热处理工艺。

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,组织结构均匀化。

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) 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,加热后准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一旦硬度偏高,为便于切削加工,可以补充高温回火予以软化。

4. 具体应用

1) 表2-1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 2-1 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

钢 号	正火温度/℃	在下列直径 (mm) 时的正火后硬度 HBW			
		12.0	25.0	50	100
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
95	900	302	293	269	255
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
40CrNiMo	870	388	363	341	321
40Cr	870	235	229	223	217
50Cr	870	262	255	248	241
60Cr	870	285	269	262	255
55Si2MnA	900	277	269	269	269

2) 表 2-2 所示为球墨铸铁完全奥氏体化正火工艺的举例。

表 2-2 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
NJ130 及 NJ230 汽车曲 轴、凸轮轴、 变速杆叉等	C3.8~4.05 Si2.0~2.3 Mn0.6~0.8 P<0.1 S0.02~0.03 RE0.02~0.035 Mg0.025~0.045		$\sigma_b=850\sim950\text{MPa}$ $\delta=2\%\sim4\%$ $a_K=25\sim50\text{J}/\text{cm}^2$ 255~285HBW

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		$\sigma_b = 800 \sim 900 \text{ MPa}$ $\delta > 2.0\%$ $a_K = 12 \sim 15 \text{ J/cm}^2$ 240~270HBW
压缩机大型曲轴	C3.1~3.6 Si2.6~2.9 Mn0.6~0.8		$\sigma_b = 650 \sim 800 \text{ MPa}$ $\delta = 4\% \sim 8\%$ $a_K = 15 \sim 50 \text{ J/cm}^2$ 220~255HBW

3) 表 2-3 所示为球墨铸铁不完全奥氏体化正火工艺的举例。

表 2-3 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		$\sigma_b = 770 \sim 930 \text{ MPa}$ $\delta = 3.8\% \sim 8.2\%$ $a_K = 25 \sim 26 \text{ J/cm}^2$ 229~277HBW
大型船用空 心曲轴	C3.8~3.9 Si2.2~2.4 Mn0.6~0.8		$\sigma_b = 780 \sim 850 \text{ MPa}$ $\delta = 2\% \sim 2.5\%$ $a_K = 20 \sim 30 \text{ J/cm}^2$
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		$\sigma_b = 700 \sim 840 \text{ MPa}$ $\delta = 2\% \sim 5\%$ $a_K = 16 \sim 22 \text{ J/cm}^2$ 215~254HBW

2.1.2 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 $30\sim 50^\circ\text{C}$, 保温透烧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) 类型组织结构的热处理工艺。

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, 依钢的碳含量而定。

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) 完全退火加热并透烧后, 大量装炉情况下, 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, 可加热并透烧后出炉掩埋在石灰或草木灰中缓冷。

4. 具体应用

- 1) 常用结构钢的完全退火加热温度与硬度值见表 2-4。

表 2-4 常用结构钢的完全退火加热温度与硬度值

牌 号	温度/ $^\circ\text{C}$	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
38CrMoAlA	900~930	≤ 229

其冷却速度: 碳钢为 $200^\circ\text{C}/\text{h}$ 左右; 低合金钢应不大于 $100^\circ\text{C}/\text{h}$; 高合金钢