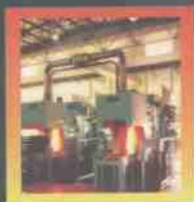


热处理实用技术丛书

钢的化学 热处理

GANGDEHUAXUERECHULI

唐殿福 卯石刚 主编
张焕敏 副主编



辽宁科学技术出版社

热处理实用技术丛书

钢的化学热处理

唐殿福 卯石刚 主 编
张焕敏 副主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

钢的化学热处理/唐殿福, 卯石刚主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2009. 3

(热处理实用技术丛书)

ISBN 978-7-5381-5441-2

I. 钢… II. ①唐…②卯… III. 钢-化学热处理
IV. TG161.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 205388 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 22.25

字 数: 590 千字

印 数: 1-4000

出版时间: 2009 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2009 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 王玉宝

书 号: ISBN 978-7-5381-5441-2

定 价: 44.00 元

编辑部电话: 024-23284372

邮 购 热 线: 024-23284502 23284357

E-mail: elecom@mail.lnpgc.com.cn

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

《热处理实用技术丛书》 编写说明

随着我国装备制造业的快速发展,材料热处理领域的新技术不断涌现,企业对产品质量的要求越来越高,控制手段日趋智能化,广大工人和工程技术人员掌握技术、丰富科技知识的愿望越来越强烈。辽宁省机械工程学会热处理分会适时组织力量,策划编写了《热处理实用技术丛书》。

本丛书共七本,即《钢的化学热处理》、《结构钢及其热处理》、《工具钢及其热处理》、《不锈钢及其热处理》、《真空热处理》、《淬火冷却技术及淬火介质》、《燃料热处理炉》。

本丛书的指导思想是:先进技术与一般技术相结合,理论与实践相结合,使其具备教科书和手册的双重功能,既适用于广大工人、工程技术人员,又可作为高校师生的参考书。丛书汇集了近年来我国在材料热处理领域研究的新技术、新成果,突出了“新”字,同时又例举了大量成熟的生产工艺,工艺数据较多,强化了“用”字。

《钢的化学热处理》一书内容丰富,涵盖了常规化学热处理的工艺,突出了质量检验、废品分析和测试技术。

《结构钢及其热处理》一书含有较多的基础理论,介绍了生产中常用的各种结构钢的热处理工艺。

《工具钢及其热处理》一书详细介绍了刀具钢、模具钢、量具钢、耐冲击工具钢、轧辊用钢的常用钢种及其热处理工艺,其中,塑料模具钢和热作模具钢等新钢种介绍得较多。应用实例、质量检验及废品分析占有较大的比例。

《不锈钢及其热处理》一书以作者多年的试验研究和热处理

实践为基础，介绍了不锈钢的热处理理论、热处理工艺、热处理中应注意的问题及相关的知识，是以作者的经验和成果为体系编写的，具有较强的实用性。

《真空热处理》一书介绍了真空基础知识、真空加热特点、各种真空热处理工艺及典型零件的真空热处理实例，并简要介绍了各种真空热处理炉。

《淬火冷却技术及淬火介质》一书介绍了各种淬火介质，特别是聚合物淬火介质和淬火油；介绍了磁场淬火、超声波淬火、强烈淬火、控制淬火等新淬火技术；介绍了淬火槽的自动控制和智能化控制系统；介绍了淬火冷却过程中的数值模拟技术。本书内容较新，是作者几十年从事淬火冷却介质和淬火槽冷却系统研究、生产的结晶。

《燃料热处理炉》一书介绍了传热学、流体力学和燃料学的基础知识，介绍了各种类型的燃料热处理炉以及节能、环保等方面的知识，是作者几十年教学和社会实践的总结。

丛书编写的具体工作由唐殿福秘书长负责。

丛书在编写过程中得到了中国热处理学会、辽宁省机械工程学会以及国内一些知名专家、教授和企业的大力支持，在此表示衷心的感谢。

限于作者的知识水平和经历，书中的错误和不当之处在所难免，真诚地欢迎读者批评指正。

《热处理实用技术丛书》 编委会

主 任	戚正风			
副主任	李 友	张立文	唐殿福	
委 员	徐维良	石家国	于程歆	田绍洁
	郭晓光	张文华	吴建国	刘世永
	包 耳	汤洪智	董世柱	

《钢的化学热处理》	主 编	唐殿福	卵石刚
	副主编		张焕敏
《真空热处理》	主 编	包耳	田绍洁
《燃料热处理炉》	主 编	吴建国	张卫军
《结构钢及其热处理》	主 编	董世柱	徐维良
	副主编		蔡淑芳
《工具钢及其热处理》	主 编	姚艳书	唐殿福
	副主编		郭冰峰
《不锈钢及其热处理》	主 编	张文华	
《淬火冷却技术及淬火介质》	主 编	于程歆	刘林
	副主编	于旻	李萍

前 言

化学热处理属于表面改性技术范畴。化学热处理是一项既历史悠久,又充满活力,并不断发展的基础工艺技术。化学热处理在汽车、机床等机械产品热处理中所占比重较大,内容最为丰富,对产品寿命的影响也最为显著。随着对产品服役寿命要求的提高,随着可持续发展战略的深入实施,化学热处理技术在提高工件性能、提高生产率、节约资源、安全、环保等方面必将得到更大的发展。

《钢的化学热处理》一书属于实用技术类书籍,是一本以企业高级工及工程技术人员为主要读者对象的专业书籍。本书配以适量的基础理论,以供读者学习。通过理论指导实践,使读者能从理论高度去分析、制订热处理工艺,减少盲目和机械照搬现象。

本书特点如下。

(1) 理论与实践相结合。

在每一章节中都有适量的基础理论,这些基础理论与工艺相对应,把理论与工艺操作有机地结合起来。

(2) 内容丰富。

几乎涵盖了国内外全部化学热处理方面的内容(不包括沉积、注入、熔覆等表面改性方法),具有教材和手册的双重功能。

(3) 既照顾普通,又突出先进。

考虑到我国热处理的生产现状,常规的、普通的化学热处理占了一定的篇幅,但突出了现代化的、先进的化学热处理技术,如离子及真空化学热处理、连续作业化学热处理、各种催渗技

术、炉气碳势及氮势控制、计算机应用等。对节能、环保方面的技术也予以侧重。

(4) 技术全面。

从渗剂、设备、钢种、化学热处理工艺，到处理后的质量检验及缺陷分析等，全部过程均有论述，给读者一个全面的技术内容。

本书参考了其他同类书中的内容，在此表示感谢，并希望读者在阅读本书的同时，参阅相关图书，以丰富技术知识。

在本书的编写过程中，得到了中国热处理学会、中国热处理协会的领导及国内一些企业的大力支持，在此表示衷心的感谢。

全书由唐殿福、卯石刚任主编，副主编张焕敏，参加编写的人员有顾博宁、黄苏宁、余卫华、刘荣承、郭晓光、张书媛、段亚斌、姚艳书等。

本书也可作为高等院校师生及产品设计人员的参考书。

本书的金相图在制版时有所缩小，已不是原来的放大倍数，请读者予以注意。

由于编者水平有限，书中的不妥和错误之处在所难免，希望读者批评指正。

编者

目 录

前 言	
第一章 化学热处理总论	1
第一节 概论	1
一、化学热处理特点	1
二、化学热处理分类及应用	3
三、化学热处理技术发展概况	8
第二节 化学热处理基本原理	10
一、化学热处理基本过程	10
二、固体扩散基本规律	14
三、扩散层形成规律及渗层相组成与组织	18
第三节 催化剂及催渗剂在化学热处理中的作用	23
一、催化剂	23
二、催渗剂	27
第四节 化学热处理过程中的制约因素分析及加速	
化学热处理的途径	30
一、化学热处理过程中的制约因素分析	30
二、加速化学热处理的途径	32
第二章 钢的渗碳 (5310)	35
第一节 概论	35
一、渗碳过程	35
二、渗碳层相组成和组织	39
三、渗碳层的技术要求及对力学性能的影响	40

第二节 渗碳钢	45
一、对渗碳钢的要求	45
二、渗碳钢的合金化	46
三、常用渗碳钢	51
第三节 渗碳介质	72
一、气体渗碳介质	72
二、固体渗碳介质及膏剂渗碳介质	82
三、液体渗碳介质	84
四、防渗剂	87
第四节 碳势控制	88
一、炉气碳势控制方法和基础	88
二、渗碳过程计算机控制原理	106
三、热处理气氛控制系统与控制类别	109
四、渗碳全过程的计算机控制及应用	112
第五节 渗碳后的热处理	120
一、渗碳后的冷却方式	120
二、渗碳后的热处理	121
第六节 渗碳件的金相组织与性能	130
一、渗碳件的金相组织	130
二、渗碳层及渗碳件的力学性能	135
第七节 渗碳件的质量检验	141
一、对钢材和预备热处理后的质量检验	141
二、渗碳层淬火前的组织检验	142
三、渗碳层总深度的检验	143
四、渗碳层碳浓度梯度的检验	146
五、渗碳件淬火回火后表面硬度和心部硬度的检验	146
六、有效硬化层深度的检验	148
七、重载齿轮渗碳层球化处理后金相组织检验	150
八、渗碳热处理件最终金相组织检验	151

第八节 钢的气体渗碳 (5311G)	156
一、井式炉气体渗碳	156
二、密封箱式炉气体渗碳	171
三、连续炉气体渗碳	184
第九节 真空渗碳 (5311V)	207
一、真空渗碳技术发展概况	207
二、真空渗碳炉	209
三、真空热处理基础知识	213
四、真空渗碳工艺及操作	219
五、真空渗碳应用实例	225
第十节 离子渗碳 (5317)	231
一、离子渗碳设备	231
二、离子渗碳原理与工艺	234
三、离子渗碳与气体渗碳比较	238
四、离子渗碳应用实例	245
第十一节 其他渗碳方法	247
一、液体渗碳 (5311L)	247
二、固体渗碳 (5311S)	251
三、膏剂渗碳	256
四、感应加热渗碳	257
五、流态床渗碳 (5311F)	257
第十二节 深层渗碳	259
一、概述	259
二、大型重载齿轮深层渗碳热处理	261
三、大型重载齿轮轴深层渗碳热处理实例	263
四、大型矿山、冶金轴承深层渗碳热处理	267
第十三节 渗碳热处理缺陷分析及预防补救措施	274
一、渗碳件的表面裂纹	274

二、磨削裂纹	283
三、渗碳热处理件低应力脆断	292
四、错料或渗碳热处理工艺不当引起的开裂	297
五、碳势自动控制出现较大的碳势偏差	301
六、有效渗碳硬化层深度超标及渗碳层深度不均匀	303
七、渗碳热处理件硬度不足和软点	306
八、渗碳热处理件的组织缺陷	308
九、渗碳热处理件的其他缺陷	311
第三章 钢的渗氮 (5330)	313
第一节 渗氮原理	313
一、气体渗氮基本过程	313
二、铁氮相图和渗氮层相组成	315
三、碳及合金元素对渗层中的相和组织的影响	319
四、渗氮层中的相变	323
五、渗氮层的性能特点	327
第二节 渗氮钢	329
一、常用渗氮钢及其应用	329
二、常用渗氮钢调质后的力学性能	331
三、常用渗氮钢 (合金调质钢) 的化学成分及相关数据	333
四、30Cr2MoV 快速渗氮钢	336
五、渗氮钢 (合金调质钢) 的预备热处理	338
第三节 钢的气体渗氮 (5331G)	341
一、渗氮介质、氨分解率测定仪及非渗氮部位的防护	341
二、气体渗氮设备及装置	343
三、结构钢强化渗氮工艺参数的确定	344

四、气体渗氮工艺	347
五、预氧化催渗气体渗氮	356
六、氮势控制技术	358
第四节 离子渗氮 (5337)	365
一、离子渗氮原理	366
二、离子渗氮设备	370
三、离子渗氮主要工艺参数	377
四、离子渗氮与气体渗氮在渗层性能上的差别	386
五、离子渗氮的应用	389
第五节 真空脉冲渗氮及其他渗氮方法	398
一、真空脉冲渗氮的优点	398
二、真空脉冲化学热处理炉	399
三、真空脉冲渗氮工艺参数及其对组织和性能的影响	400
四、真空脉冲渗氮 (或氮碳共渗) 应用实例	404
五、其他渗氮工艺方法	407
第六节 渗氮件的质量检验	408
一、检验标准、检验项目及检验方法	408
二、渗氮件的质量检验	409
第七节 渗氮件常见缺陷分析	418
一、气体渗氮常见缺陷	418
二、离子渗氮常见缺陷	421
三、渗氮件组织缺陷分析	423
四、渗氮件硬度低、渗层浅的原因分析	430
第四章 钢的碳氮共渗 (5320)	434
第一节 碳氮共渗的特点及共渗层深度和碳氮浓度的选择	434
一、碳氮共渗基本过程	434

二、碳氮共渗的特点	435
三、碳氮共渗层深度和碳氮浓度的选择	436
第二节 碳氮共渗工艺参数的确定	438
一、共渗温度	438
二、共渗时间	440
三、渗剂用量及换气次数	441
第三节 碳氮共渗用钢及其热处理	444
一、碳氮共渗用钢	444
二、碳氮共渗后的热处理	445
第四节 碳氮共渗热处理后的组织与性能	449
一、共渗层组织	449
二、碳氮共渗件的力学性能	450
第五节 气体碳氮共渗 (5320G)	460
一、气体碳氮共渗设备	460
二、气体碳氮共渗介质	460
三、气体碳氮共渗工艺质量控制措施	465
四、催渗技术在碳氮共渗中的应用	469
五、气体碳氮共渗实例	473
第六节 液体碳氮共渗及其他碳氮共渗工艺方法	482
一、液体 (盐浴) 碳氮共渗 (5320L)	482
二、离子碳氮共渗	487
三、其他碳氮共渗方法	491
第七节 碳氮共渗件的质量检验及常见缺陷分析	493
一、碳氮共渗件的质量检验	493
二、碳氮共渗热处理件组织缺陷分析	496
三、碳氮共渗热处理件硬度、渗层及畸变方面的 缺陷分析	503
第八节 渗碳及碳氮共渗件的低应力脆断	505
一、工件中氢的来源	505

二、氢脆断裂的主要特征	506
三、氢脆的敏感因素	507
四、钢中氢含量的检测	507
五、钢中的氢含量对冶金质量和力学性能的影响	508
六、渗碳及碳氮共渗件发生氢脆断裂的基本规律	512
七、氢脆开裂机理	513
第五章 渗硫及钢铁材料在铁素体状态下的二元和多元	
共渗	514
第一节 渗硫 (5350S)	514
一、渗硫技术发展概况	514
二、铁硫相图、渗层相组成、组织及性能	519
三、渗硫工艺方法	523
第二节 硫氮共渗(5370S-N)及硫氮碳共渗(5370S-N-C)	
.....	535
一、硫氮共渗及复合渗	535
二、硫氮碳共渗	542
三、硫氮及硫氮碳共渗件的质量检验及缺陷分析	554
第三节 氮碳共渗 (5340)	558
一、氮碳共渗特点及工艺原理	558
二、氮碳共渗层组织和性能	560
三、气体氮碳共渗 (5340G)	564
四、液体氮碳共渗 (5340L)	575
五、离子氮碳共渗	585
六、真空脉冲氮碳共渗	590
七、其他氮碳共渗方法	593
八、氮碳共渗件的质量检验	599
九、氮碳共渗缺陷分析	600

第四节 其他共渗实例	605
一、三元共渗	605
二、四元共渗	606
三、五元共渗	608
第五节 五种低温化学热处理工艺方法选用原则	609
一、选择工艺方法的一般原则	610
二、齿轮类、轴类及模具类低温化学热处理工艺方法 选择参考	614
第六章 钢的渗硼 (5350B)	616
第一节 渗硼原理及渗硼层组织与性能	616
一、铁硼相图及渗硼层的相组成	616
二、渗硼层形成机理	619
三、渗硼层组织及其类型	622
四、渗硼件的性能	629
五、影响钢铁材料渗硼的因素及渗硼后的热处理	635
第二节 渗硼工艺	639
一、固体渗硼 (5351BS)	639
二、液体渗硼 (5351BL)	664
三、气体渗硼 (5351BG)	674
四、离子渗硼 (5357)	675
五、真空渗硼 (5351BV)	678
六、电解渗硼	679
七、感应加热渗硼处理	684
第三节 渗硼件的质量检验	685
一、渗硼件的质量检验	685
二、渗硼件常见缺陷分析及预防	688
参考文献	

化学热处理总论

第一节 概 论

一、化学热处理特点

化学热处理是将工件置于一定温度的活性介质中加热、保温，使一种或几种元素渗入其表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺方法。它是表面合金化与热处理相结合的一项工艺技术，属于表面改性技术范畴。

机器零件的失效和破坏，大都发生在工件表面或是由工件表面开始。这是由于工件承受的外力大部分集中在表面或由表及里依次减少。例如扭转、弯曲、咬合、磨损等，都是工件表面处于最大的应力状态。又由于工件表面与各种介质接触，介质对工件的腐蚀也是从表面开始。因此，要提高工件的使用寿命，最重要的是如何提高工件表面质量和性能。

目前，改善钢铁工件表面性能的方法有：气相沉积技术，熔盐碳化物覆层技术，激光束、电子束表面淬火技术，离子注入技术，激光熔覆及激光表面合金化技术，热浸镀及热浸镀扩散技术，感应加热表面热处理技术，火焰加热表面处理技术，化学热处理技术等。

化学热处理在整个热处理生产中，占有相当大的比重，机床行业约占 40%，汽车行业约占 80%。化学热处理应用如此广泛，主要是由其性能及工艺特点所决定的。

不同的渗入元素，赋予工件表面的性能是不同的。在工业生