

热处理技术

(上)

唐殿福 主编

 辽宁科学技术出版社

热处理技术

(上)

唐殿福 主编

辽宁科学技术出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

热处理技术. 上/ 唐殿福主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5381-9046-5

I. ①热… II. ①唐… III. ①热处理 IV. ①TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 023193 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

开 本: 850mm × 1168mm 1/32

印 张: 38.5

字 数: 990 千字

出版时间: 2015 年 2 月第 1 版

印刷时间: 2015 年 2 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 周 文

书 号: ISBN 978-7-5381-9047-2

定 价: 96.00 元

投稿热线: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkjc@126.com

http: //www. lnkj. com. cn

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

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	

总目录

第一篇/1……695

钢的化学热处理

唐殿福 卯石刚 主编

第二篇/1……497

结构钢及其热处理

董世柱 徐维良 主编

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

产中，化学热处理的作用概括起来有三个方面：一是表面强化，提高工件的某些力学性能，如表面硬度、耐磨性、疲劳强度及多次冲击抗力等，所用的化学热处理方法有渗碳、渗氮、碳氮共渗、氮碳共渗、渗硼等；二是降低材料表面摩擦系数，起到固体润滑作用或提高材料表面抗咬合性能，防止工件表面擦伤等，如渗硫、渗氮、氮碳共渗、硫氮共渗等；三是保护工件表面，提高工件的物理、化学性能，如耐高温氧化及耐腐蚀等，所用化学热处理方法有渗氮、渗硫、渗铝、渗铬、渗硅、渗锌等。

经过化学热处理的工件，其表面和心部具有不同的化学成分、组织和性能，实际上构成了一种复合材料的工件。低碳钢及低碳合金钢经过渗碳后，其制成的工件表面的碳浓度达到共析或过共析成分，再经过淬火低温回火后，表面具有高碳钢的性能，即高硬度、高耐磨性，而心部仍保留低碳钢及低碳合金钢淬火后所具有的良好塑性及韧性、足够的强度和低的脆性转变温度。显然，这是单一的低碳钢和高碳钢所不能达到的。

低碳钢及低碳合金钢经渗碳或碳氮共渗淬火低温回火的工件与中碳调质钢（如 45 钢）及中碳合金调质钢（如 40Cr 钢）经高频或中频或火焰加热表面淬火低温回火的工件相比，主要差别是：前者比后者最高硬度可高出 2~3HRC，在高硬度范围内（>60HRC），硬度虽然只增加 2~3HRC，但其耐磨性却明显增加；表层组织，前者为马氏体加残余奥氏体加碳化物，后者为马氏体加残余奥氏体，无碳化物。碳化物的存在可提高耐磨性，因此，前者比后者耐磨性要高得多；前者表面层的残余压应力一般比后者高，其疲劳强度一般是前者高于后者；钢的含碳量低，其脆性转变温度也低，前者的低温冲击韧性高于后者，前者的脆性转变温度低于后者，因此，在室外工作的汽车、拖拉机等机械设备中的工件，多采用渗碳或碳氮共渗方案制造，而在室内工作的机械设备中的工件，多采用调质加表面淬火方案制造。

化学热处理方法不受工件形状的限制，无论外形怎样复杂，

工件表面都能得到均匀的渗层。

经化学热处理的工件，如渗碳，出现了过热现象，可在随后的热处理过程中消除。

化学热处理件还可降低噪音，如 40CrNiMo 钢传动轴齿轮，经离子渗氮后，工作时的噪音比高频淬火件降低了 1~2dB。

化学热处理时间长，能源消耗大，生产成本低。

化学热处理的废气及残渣对环境造成污染。

二、化学热处理分类及应用

1. 化学热处理分类

(1) 按渗入元素的数量分类。

①单元渗。渗碳，渗氮，渗硫，渗硼，渗铝，渗硅，渗锌，渗铬，渗钒，渗钛等。

②二元渗。碳氮共渗，氮碳共渗，氧氮共渗，硫氮共渗，硼铝共渗，硼硅共渗，硼钨共渗，硼碳共渗，铬铝共渗，铬硅共渗，铬钛共渗，铬钒共渗，铬氮共渗，铝稀土共渗，铝镍共渗等。

③多元渗。氧氮碳共渗，碳氮硼共渗，硫氮碳共渗，氧硫氮共渗，碳氮钒共渗，铬铝硅共渗，碳氮氧硫硼共渗等。

(2) 按渗剂的物理形态分类。

①固体法。颗粒法，粉末法，涂渗法（膏剂法、熔渗法），电镀、电泳或喷涂后扩散处理法。

②液体法。熔盐法（熔盐渗、熔盐浸渍、熔盐电解），热浸法（加扩散处理），电镀法（加扩散处理），水溶液电解法。

③气体法。有机液体滴注法，气体直接通入法，真空处理法，流态床处理法。

④辉光离子法。离子渗碳或碳氮共渗，离子渗氮或氮碳共渗，离子渗硫，离子渗金属。

(3) 按钢铁基体材料在进行化学热处理时的组织状态分类。

①奥氏体状态。渗碳, 碳氮共渗, 渗硼及其共渗, 渗铬及其共渗, 渗铝及其共渗, 渗钒、渗钛、渗锆等。

②铁素体状态。渗氮, 氮碳共渗, 氧氮共渗及氧氮碳共渗, 渗硫, 硫氮共渗及硫氮碳共渗, 氮碳硼共渗, 渗锌。

(4) 按渗入元素种类分类。

①渗非金属元素。渗碳, 渗氮, 渗硫, 渗硼, 渗硅。

②渗金属元素。渗铝, 渗铬, 渗锌, 渗钒, 渗钛, 渗锆。

2. 化学热处理应用

化学热处理方法、渗层深度、组织、性能及主要应用范围见表 1-1。

表 1-1 化学热处理方法、渗层深度、组织、性能及主要应用范围

方法	渗层深度	渗层组织	性 能	主要应用范围
渗碳	0.2~10.0 mm	淬火低温回火 马氏体 + 残余奥氏体 + 碳化物	表面硬度 56~64HRC, 表面高硬度、高强度, 耐磨损、耐疲劳性能高	汽车、拖拉机齿轮, 风动工具零件, 大型机械轴承及其他要求耐磨损的零件
碳氮共渗	0.2~1.2 mm	淬火低温回火 马氏体 + 残余奥氏体 + 碳氮化合物	表面硬度 56~64HRC, 表面高硬度、高强度, 耐磨损、耐疲劳性能高	汽车、拖拉机齿轮, 风动工具零件, 大型机械轴承及其他要求耐磨损的零件
渗氮	0.02~0.8 mm	合金氮化物 + 含氮固溶体	表面硬度 650~1200 HV, 高的表面硬度, 红硬性、耐磨性、抗蚀性及抗咬合性能好, 处理温度低, 零件畸变小	飞机及精密机床的传动齿轮、轴、丝杠及汽车齿轮等零件。工模具、铸铁等要求表面耐磨及尺寸精度要求高的其他零件

续表

方法	渗层深度	渗层组织	性能	主要应用范围
氮碳共渗	0.02~0.5 mm	氮碳化合物 + 氮碳固溶体	表面硬度 650~1200 HV, 高的表面硬度, 红硬性、耐磨性、抗蚀性及抗咬合性能好, 处理温度低, 零件畸变小	飞机及精密机床的传动齿轮、轴、丝杠及汽车齿轮等零件。工模具、铸铁等要求表面耐磨及尺寸精度要求高的其他零件
渗硫	0.005~0.015 mm	FeS	降低摩擦系数, 提高抗咬合性能	齿轮、内燃机零件及工模具等
硫氮共渗	0.02~0.04 mm	Fe _{1-x} S 及氮化物	降低摩擦系数, 提高抗咬合性能, 提高耐磨性, 改善抗疲劳性能	内燃机零件及工模具、曲轴等在较大载荷、高速度、长时间工况下工作的零件
硫氮碳共渗	0.02~0.04 mm	FeS + 氮碳化合物	降低摩擦系数, 提高抗咬合性能, 提高耐磨性, 改善抗疲劳性能	内燃机零件及工模具、曲轴等在较大载荷、高速度、长时间工况下工作的零件
渗硼	0.05~0.4 mm	Fe ₂ B 及 FeB	硬度很高 (1200~2000 HV), 耐磨损, 抗蚀, 红硬性高	在腐蚀条件下耐磨损的零件, 如缸套、活塞杆等, 也用于模具
渗铝	40~60 μm	FeAl、FeAl ₂ 等	抗高温氧化, 提高在含硫介质中的抗酸性	叶片、喷嘴、化工管道等在高温或高温加腐蚀环境下工作的零件, 加热炉中的耐热件等
渗铬	20~60 μm	含铬的 α 固溶体 + Cr ₂₃ C ₆ + Cr ₇ C ₃	抗腐蚀, 耐磨损, 抗高温氧化	代替不锈钢作耐磨蚀和抗高温氧化的零件