

• 孔春花 曹淑芬 蔡安克 靖琦 编著

车辆零件

热处理技术及应用实例

CHELIANG LINGJIAN
RECHULI JISHU JI YINGYONG SHILI



化学工业出版社

• 孔春花 曹淑芬 著

车辆零件

热处理技术及应用实例

CHELIANG LINGJIAN
RECHULI JISHU JI YINGYONG SHILI



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了车辆零件热处理基础和轴类、曲轴、凸轮轴及其他车辆零件的热处理生产实例以及车辆零件热处理缺陷分析。本书可用于指导工艺编制、生产调整等。

本书可供从事金属材料及热处理的工程技术人员、科研人员及其他有关人员阅读和参考,也可供大专院校金属热处理专业的师生参考,对管理人员和有关领导也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

车辆零件热处理技术及应用实例 / 孔春花等编著. —北京:
化学工业出版社, 2013.3
ISBN 978-7-122-16438-4

I. ①车… II. ①孔… III. ①汽车-零部件-热处理
IV. ①U463②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 018251 号

责任编辑: 邢 涛

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 战河红

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 13½ 字数 367 千字

2013 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

金属热处理是在固态下将金属或合金加热到一定温度、保持一定时间，然后用不同的冷却速度冷却下来，通过对加热速度、加热温度、保温时间和冷却速度四个要素的有机配合，使其发生相的转变，形成各种各样的组织结构，从而获得所需要的使用性能的一种热加工工艺。为了保证机械产品的质量和使用寿命，通常重要的机械零件都要经过热处理。

汽车和拖拉机是传统工业，近年来发展很快，我国的汽车保有量超过 1 亿辆，年产销均超过 1 千万辆。汽车和拖拉机中 80% 以上的零件需要热处理，热处理工艺可以充分金属材料性能、提高产品质量、延长产品寿命，对于汽车工业尤为重要。

为了普及金属热处理工艺知识，促进热处理工艺技术对汽车工业和拖拉机工业中的应用，笔者结合多年来的工作经验，编写本书。本书突出实用性和先进性，语言精练，数据翔实，侧重于用实用数据和实例来说明问题，相信本书的出版对我国的热处理行业和汽车工业都有一定的促进作用。

本书第 1 章至第 5 章（大部分）由孔春花、蔡安克编写，5.16、5.17 和 5.18 三节由毛长恩高级工程师编写，第 6 章由曹淑芬、靖琦编写。另外，孔孟田、马春庆、张沈洁、马戈、党国军、刘书锋、段华荣、赵电昭也参加了部分编写工作。本书的编写过程得到了一拖集团相关专家和支持，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，请读者批评指正。

孔春花
2013 年 1 月



目 录

目 录 ■ 车辆零件热处理技术及应用实例

第 1 章 车辆零件热处理基础 1

1.1 热处理一般常识	1
1.1.1 热处理常用术语	2
1.1.2 金属热处理的工艺	4
1.1.3 钢的分类	16
1.1.4 金属材料的力学性能	18
1.1.5 热处理变形的预防	19
1.2 感应热处理一般常识	21
1.2.1 感应热处理原理	22
1.2.2 高、中、超音频电流	22
1.2.3 感应淬火最常用的钢号	22
1.2.4 感应淬火对用钢的要求	23
1.2.5 感应淬火的工艺控制	23
1.2.6 感应淬火有效热的形成与测算	29
1.2.7 影响感应淬火零件力学性能的因素	39

第 2 章 轴类零件热处理实例 46

2.1 驱动轴类零件	47
2.1.1 零件号为 5127290 的动力输出从动轴	48
2.1.2 卡特皮勒公司零件号为 147-3310 的驱动轮轴	49
2.2 花键轴类零件	59
2.3 十字轴类零件	62
2.3.1 长叉轴、短叉轴所用材料及其工艺	62
2.3.2 频率的选择	62
2.3.3 工艺方案的确定	64

2.3.4	结论	64
2.4	空心轴类零件	65
2.4.1	简介	65
2.4.2	LF80-90 4WD 主离合器轴所用材料及其工艺	66
2.4.3	结论	71
2.5	细长轴类零件	71
2.5.1	所用材料及其工艺	72
2.5.2	采用的淬火工艺	73

第3章 曲轴零件热处理实例 79

3.1	曲轴的表面强化处理	80
3.2	曲轴用钢	81
3.3	钢质曲轴的热处理	81
3.4	球墨铸铁曲轴的热处理	83
3.4.1	球墨铸铁曲轴的熔炼	84
3.4.2	等温淬火球墨铸铁在曲轴上的应用	85
3.5	不同表面强化方法对曲轴疲劳强度的影响	87
3.6	锻钢曲轴的制造技术	88
3.7	几种型号曲轴的热处理工艺	89
3.7.1	曲轴预冷工艺	89
3.7.2	61500020012R 曲轴正火	92
3.7.3	曲轴感应淬火工艺	97

第4章 凸轮轴零件热处理实例 108

4.1	三缸凸轮轴	111
4.2	四缸凸轮轴	118
4.3	六缸凸轮轴	119

第5章 其他零件热处理实例 122

5.1	齿轮类零件	122
-----	-------------	-----

5.1.1	齿轮材料	123
5.1.2	齿轮的热处理	124
5.2	盘类零件	162
5.2.1	齿圈螺母的技术要求	163
5.2.2	齿圈螺母淬火感应器的设计	163
5.2.3	齿圈螺母淬火夹具的设计	164
5.2.4	齿圈螺母淬火工艺	165
5.2.5	齿圈螺母淬火工艺数控编程	166
5.3	齿圈类零件	167
5.3.1	内齿圈类零件	167
5.3.2	外齿圈类零件	179
5.4	多台阶大变径轴类零件	183
5.4.1	动力输出从动轴	183
5.4.2	前驱动轴	189
5.5	摇壁轴类零件	194
5.5.1	概述	194
5.5.2	淬火工艺改进	195
5.5.3	工艺试验结果分析	196
5.5.4	金相检验结果	197
5.6	铲刀连接座类零件	197
5.6.1	概述	197
5.6.2	研制流程	198
5.6.3	实验内容和方法	198
5.7	内孔类零件	211
5.7.1	套筒类零件	212
5.7.2	套筒形内孔零件的高频感应加热表面淬火	216
5.7.3	薄壁套形零件	225
5.7.4	旋压薄壁筒形类焊接零件的热处理	234
5.7.5	薄片带孔零件的热处理	239
5.7.6	长内孔零件的感应淬火	241
5.8	拨叉、拨块类零件	244
5.8.1	换挡拨块	244
5.8.2	中倒挡拨叉	246

5.8.3	Ⅲ-Ⅳ挡拨叉	249
5.8.4	Ⅱ-Ⅲ挡拨叉	250
5.8.5	大轮拖 LF80-90 变速拨叉感应淬火	254
5.8.6	解决淬火裂纹的措施	258
5.9	推土机刀片类零件	263
5.9.1	4125 机型上的左主刀片	263
5.9.2	4125 机型上的右主刀片	266
5.9.3	4125 机型上的副刀片	267
5.10	推杆类零件	268
5.10.1	技术要求	269
5.10.2	技术难点	269
5.10.3	感应器设计	271
5.10.4	工艺调试	273
5.10.5	检验	274
5.10.6	生产和装车	274
5.10.7	结论	274
5.11	半轴类零件	275
5.11.1	叉车桥半轴的热处理工艺	279
5.11.2	汽车、拖拉机半轴的热处理	283
5.12	螺杆零件的感应淬火工艺	286
5.12.1	工艺试验及结果分析	287
5.12.2	结论	294
5.13	等速万向节类零件	295
5.13.1	等速万向节钟形壳感应淬火	296
5.13.2	球头销感应淬火	298
5.14	机油泵主动轴零件	302
5.15	摇臂轴	303
5.16	拖拉机小四轮前桥销轴热处理工艺	304
5.16.1	20Cr 前桥销轴热处理工艺	305
5.16.2	前桥销轴材料及热处理工艺改进	307
5.17	拖拉机小四轮转向节主销热处理工艺	309
5.17.1	小型拖拉机前桥转向节主销调质工艺及其改进	309
5.17.2	转向节主销高频感应淬火工艺	312

5.18	东方红-150 拖拉机的转向机蜗杆热处理工艺	313
5.18.1	蜗杆材料选用及技术要求	313
5.18.2	蜗杆的渗碳工艺	314
5.18.3	蜗杆渗碳后的热处理	317
5.19	长杆轴零件的热处理	318
5.20	犁头零件淬火	320
5.21	A31-25、A31-26 弹簧零件淬火	322
5.21.1	简介	322
5.21.2	试验方法	323
5.21.3	理论分析	325
5.21.4	结论	326
5.22	从动螺旋锥齿轮零件淬火	327
5.22.1	工艺试验	328
5.22.2	工艺参数	328
5.22.3	结论	331
5.23	齿轮渗碳零件淬火	331
5.23.1	简介	331
5.23.2	齿轮渗碳淬火中常见的缺陷及其形成原因和返修 方法	332
5.23.3	结论	334
5.24	转向节主销中频淬火工艺改进	335
5.24.1	概述	335
5.24.2	技术要求	336
5.24.3	淬火工艺	336
5.24.4	经济效益	341
5.24.5	结论	341
5.25	台车轮轴中频淬火工艺改进	341
5.26	支座类零件	344
5.26.1	最初高频淬火工艺	344
5.26.2	改进后高频淬火工艺	344
5.26.3	结果分析	346
5.26.4	结论	346
5.27	支承圈零件	346

5.27.1	支承圈零件中频淬火工艺	348
5.27.2	淬火工艺	349
5.27.3	淬火结果检验	350
5.28	差速锁板叉轴零件	350
5.28.1	差速锁板叉轴零件技术要求	350
5.28.2	差速锁板叉轴零件高频淬火工艺	352
5.28.3	淬火结果检验	352
5.29	气门摇臂零件	352
5.29.1	气门摇臂零件技术要求	352
5.29.2	气门摇臂零件高频淬火工艺	353
5.29.3	淬火结果检验	353
5.30	杠杆类零件	354
5.30.1	1.82/5129396 杠杆	354
5.30.2	1.89/5123965 力调节长立杆	355
5.30.3	SZ804 下拉杆热处理	357
5.30.4	槽口类零件感应加热淬火	359
5.31	活塞销渗碳淬火工艺改进	362
5.32	纵向旋转加热整体淬火法	365
5.33	PC 钢筋热处理	368
5.34	淬火设备简介	371
5.34.1	淬火机床的主要组成部分	371
5.34.2	GCK 系列通用立式淬火机床	373
5.34.3	数控曲轴旋转感应淬火成套设备	374

第 6 章 车辆零件热处理缺陷分析实例 375

6.1	发动机连杆失效分析案例	376
6.1.1	简介	376
6.1.2	连杆用材和生产过程	378
6.1.3	脱碳、热处理缺陷对连杆失效的影响	378
6.2	齿轮零件失效分析案例	386
6.3	发动机曲轴断裂分析	400

6.4	轴类零件失效分析案例	404
6.5	拨叉类零件失效分析案例	413

参考文献	420
------------	-----



第 1 章

车辆零件热处理基础

1.1 热处理一般常识

金属热处理是将金属工件放在一定的介质中加热到适宜的温度，并在此温度中保持一定时间后，又以不同速度冷却的一种工艺方法。

在机械加工中，热处理是将不同材料所制成零件放在一定的介质内加热、保温、冷却，通过改变材料表面或内部的金相组织结构，来控制其力学性能的一种金属热加工工艺。比如，根据工件的用途，要提高零件的表面硬度，就要通过热处理手段达到。

热处理的工艺比较多，淬火、正火、回火、渗碳、碳氮共渗（也称氰化）以及对圆钢材进行的调质处理等，都属于热处理的范畴。具体的操作根据不同的热处理方式有不同的步骤，以提高工件硬度的淬火热处理为例分为：加热-保温-快速冷却（用水或油作为冷却介质）-回火-检验。

在以上步骤中，每一步对工件的最后质量都有影响，如果对工件的内部组织有具体要求，如最后零件的内部组织为回火马氏体，就要有比较严格的工艺控制手段。

金属热处理是机械制造中的重要工艺之一，与其他加工工艺相比，热处理一般不改变工件的形状和整体的化学成分，而是通过改变工件内部的显微组织，或改变工件表面的化学成分，赋予或改善工件的使用性能。其特点是改善工件的内在质量，而这一般是肉眼

所不能看到的。

为使金属工件具有所需要的力学性能、物理性能和化学性能，除合理选用材料和各种成形工艺外，热处理工艺往往是必不可少的。钢铁是机械工业中应用最广的材料，钢铁显微组织复杂，可以通过热处理予以控制，所以钢铁的热处理是金属热处理的主要内容。另外，铝、铜、镁、钛等及其合金也都可以通过热处理改变其力学、物理和化学性能，以获得不同的使用性能。

1.1.1 热处理常用术语

(1) 金属 具有不透明、金属光泽、良好的导热和导电性，并且其导电能力随温度的增高而减小，富有延性和展性等特性的物质。金属内部原子具有规律性排列（即晶体）。

(2) 合金 由两种或两种以上金属或金属与非金属组成，具有金属特性的物质。

(3) 相 合金中成分、结构、性能相同的组成部分。

(4) 固溶体 一个（或几个）组元的原子（化合物）溶入另一个组元的晶格中，而仍保持另一个组元的晶格类型的固态金属晶体，固溶体分间隙固溶体和置换固溶体两种。

(5) 固溶强化 由于溶质原子进入溶剂晶格的间隙或结点，使晶格发生畸变，使固溶体硬度和强度升高，这种现象叫固溶强化。

(6) 金属化合物 合金组元间发生化合作用，生成一种具有金属性能的新的晶体固态结构。

(7) 机械混合物 由纯金属、固溶体、金属化合物等合金的基本相按照固定比例构成的组织称为机械混合物。

(8) 铁素体 碳在 α -Fe（体心立方结构的铁）中的间隙固溶体。

(9) 奥氏体 碳在 γ -Fe（面心立方结构的铁）中形成的间隙固溶体。

(10) 渗碳体 铁碳合金按亚稳定平衡系统凝固和冷却转变时析出的 Fe_3C 型碳化物。

(11) 珠光体 是指奥氏体发生共析转变所形成的铁素体与渗碳体的共析体 ($F+Fe_3C$ 含碳 0.8%)。

(12) 莱氏体 渗碳体和奥氏体组成的机械混合物 (含碳 4.3%)。当温度高于 727°C 时, 莱氏体由奥氏体和渗碳体组成, 用符号 LD 表示; 当温度低于 727°C 时, 莱氏体是由珠光体和渗碳体组成, 用符号 LD' 表示, 称为变态莱氏体。

(13) 正火 将钢材或钢件加热到临界点 A_{c_3} 或 A_{c_m} 以上 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 或更高的温度, 保温一定时间使之达到完全奥氏体化后, 在静止的空气中冷却的热处理工艺。正火的目的主要是提高低碳钢的力学性能, 改善切削加工性, 细化晶粒, 消除组织缺陷, 为后道热处理做好组织准备以及得到珠光体类组织。

(14) 退火 将亚共析钢工件加热至 A_{c_3} 以上 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$, 保温一段时间后, 随炉缓慢冷却 (或埋在砂中或石灰中冷却) 至 500°C 以下, 在空气中冷却的热处理工艺。常见的退火工艺有再结晶退火、去应力退火、球化退火及完全退火等。

(15) 固溶热处理 将合金加热至高温单相区恒温保持, 使过剩相充分溶解到固溶体中, 然后快速冷却, 以得到过饱和固溶体的热处理工艺。

(16) 时效 合金经固溶热处理或冷塑性形变后, 在室温放置或稍高于室温保持时, 其性能随时间而变化的现象。

(17) 固溶处理 使合金中各种相充分溶解, 强化固溶体并提高韧性及抗蚀性能, 消除应力与软化, 以便继续加工成形。

(18) 时效处理 在强化相析出的温度加热并保温, 使强化相沉淀析出, 得以硬化, 提高强度。

(19) 淬火 指将钢件加热到 A_{c_3} 或 A_{c_1} (钢的下临界点温度) 以上某一温度, 将钢奥氏体化后以适当的冷却速度冷却, 使工件在横截面内全部或一定的范围内发生马氏体等不稳定组织结构转变, 以获得马氏体 (或贝氏体) 组织的热处理工艺。常见的淬火工艺有盐浴淬火、马氏体分级淬火、贝氏体等温淬火、表面淬火和局部淬火等。淬火的目的是: 使钢件获得所需的马氏体组织, 提高工件的硬

度、强度和耐磨性，为后道热处理做好组织准备等。

(20) 回火 将经过淬火的工件加热到临界点 A_{c1} 以下的适当温度保持一定时间，随后用符合要求的方法冷却到室温，以获得所需要的组织和性能的热处理工艺。常见的回火工艺有低温回火、中温回火、高温回火和多次回火等。回火的目的：主要是消除钢件在淬火时所产生的应力，使钢件具有高的硬度和耐磨性外，并具有所需要的塑性和韧性等。

(21) 钢的碳氮共渗 碳氮共渗是指向钢的表层同时渗入碳和氮的过程。习惯上碳氮共渗又称为氰化，目前以中温气体碳氮共渗和低温气体碳氮共渗（即气体软氮化）应用较为广泛。中温气体碳氮共渗的主要目的是提高钢的硬度、耐磨性和疲劳强度。低温气体碳氮共渗以渗氮为主，其主要目的是提高钢的耐磨性和抗咬合性。

(22) 调质处理 指将钢材或钢件进行淬火及高温回火的复合热处理工艺。调质处理广泛应用于各种重要的结构零件，特别是那些在交变负荷下工作的连杆、螺栓、齿轮及轴类等。调质处理后得到回火索氏体组织，它的力学性能均比相同硬度的正火索氏体组织为优。它的硬度取决于高温回火温度并与钢的回火稳定性和工件截面尺寸有关，一般在 $200 \sim 350\text{HB}$ 。用于调质处理的钢称调质钢。它一般是指中碳结构钢和中碳合金结构钢。

(23) 钎焊 用钎料将两种工件焊合在一起的热处理工艺。

(24) 渗碳 渗碳是指使碳原子渗入钢表面层的过程。也是使低碳钢的工件具有高碳钢的表面层，再经过淬火和低温回火，使工件的表面层具有高硬度和耐磨性，而工件的中心部分仍然保持着低碳钢的韧性和塑性。

1.1.2 金属热处理的工艺

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程，有时只有加热和冷却两个过程。这些过程互相衔接，不可间断。

加热是热处理的重要步骤之一。金属热处理的加热方法很多，

最早是采用木炭和煤作为热源,进而应用液体和气体燃料。电的应用使加热易于控制,且无环境污染。利用这些热源可以直接加热,也可以通过熔融的盐或金属,以致浮动粒子进行间接加热。

金属加热时,工件暴露在空气中,常常发生氧化和脱碳(即钢铁零件表面碳含量降低),这对于热处理后零件的表面性能有很不利的影响。为防止脱碳、氧化金属通常应在可控气氛或保护气氛中、熔融盐中和真空中加热,也可用涂装或包装等方法进行保护加热。

加热温度是热处理的重要工艺参数之一,选择和控制加热温度,是保证热处理质量的主要问题。加热温度随被处理的金属材料 and 热处理的目的不同而异,但一般都是加热到相变温度以上,以获得需要的组织。另外,转变需要一定的时间,因此当金属工件表面达到要求的加热温度时,还需在此温度保持一定时间,使内外温度一致,使显微组织转变完全,这段时间称为保温时间。采用高能密度加热和表面热处理时,加热速度极快,一般就没有保温时间或保温时间很短,而化学热处理的保温时间往往较长。

冷却也是热处理工艺过程中不可缺少的步骤,冷却方法因工艺不同而不同,主要是控制冷却速度。一般退火的冷却速度最慢,正火的冷却速度较快,淬火的冷却速度更快。但还因钢种不同而有不同的要求,例如空硬钢就可以用正火一样的冷却速度进行淬硬。

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理、局部热处理和化学热处理等。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同,每一大类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺,可获得不同的组织,从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广的金属,而且钢铁显微组织也最为复杂,因此钢铁热处理工艺种类繁多。

整体热处理是对工件整体加热,然后以适当的速度冷却,以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退

火、正火、淬火和回火四种基本工艺。

1.1.2.1 退火

(1) 退火定义 将工件加热到适当温度, 根据材料和工件尺寸采用不同的保温时间, 然后进行缓慢冷却 (冷却速度最慢), 目的是使金属内部组织达到或接近平衡状态, 获得良好的工艺性能和使用性能, 或者为进一步淬火做组织准备 (退火: 将金属及其合金加热、保温和冷却, 使其组织结构达到或接近平衡状态的热处理工艺。退火一般是在炉内缓冷, 正火一般是空冷)。

退火工艺特点: 加热到临界点温度以上 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度 (亚共析钢在 A_{c_3} 以上), 然后在低于 A_{r_1} 不超过 40°C 范围内令其发生珠光体转变。

奥氏体化温度: A_{c_3} (或 A_{c_1}) + ($30\sim 40^{\circ}\text{C}$)。

珠光体化温度: A_{r_1} - ($30\sim 40^{\circ}\text{C}$)。

(2) 退火的种类

① 完全退火和等温退火 完全退火又称重结晶退火, 一般简称为退火, 这种退火主要用于亚共析成分的各种碳钢和合金钢的铸锻件及热轧型材, 有时也用于焊接结构。一般常作为一些不重要工件的最终热处理, 或作为某些工件的预先热处理。

② 球化退火 球化退火主要用于过共析的碳钢及合金工具钢 (如制造刀具, 量具, 模具所用的钢种), 其主要目的在于降低硬度, 改善切削加工性, 并为以后淬火做好准备。

③ 去应力退火 去应力退火又称低温退火 (或高温回火), 这种退火主要用来消除铸件、锻件、焊接件、热轧件、冷拉件等的残余应力。如果这些应力不予消除, 将会引起钢件在一定时间以后, 或在随后的切削加工过程中产生变形或裂纹。

④ 低温退火 见表 1-1。

⑤ 再结晶退火 见表 1-1。

⑥ 扩散退火 见表 1-1。

⑦ 完全退火 见表 1-1。

⑧ 去氢退火 见表 1-1。