



FUHE RECHULI JISHU
YU DIANXING SHILI

复合热处理技术 与典型实例

齐宝森 李玉婕 王忠诚 编著



化学工业出版社



FUHE RECHULI JISHU
YU DIANXING SHILI

复合热处理技术 与典型实例

齐宝森 李玉婕 王忠诚 编著



化学工业出版社

热处理是机械工业中的一项十分重要的基础工艺,而复合热处理技术是一种先进而且实用的热处理技术。本书在简述复合热处理技术的基本涵义的基础上,重点分析了常用的复合热处理工艺方法的特点与典型应用。

本书的编写力求通俗易懂、理论联系实际、图文并茂、深入浅出、简明实用,以满足广大机械工业生产一线的科技工作者、技术工人和管理人员的迫切需要,同时也可供机械、金属材料类专业院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复合热处理技术与典型实例/齐宝森,李玉婕,王忠诚
编著. —北京:化学工业出版社,2015.1
ISBN 978-7-122-22072-1

I. ①复… II. ①齐…②李…③王… III. ①热处理
IV. ①TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第241623号

责任编辑:邢涛
责任校对:边涛

文字编辑:余纪军
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:北京永鑫印刷有限责任公司
装订:三河市宇新装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张13¼ 字数245千字 2015年1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

前言

在人类进入重品质、环保、节能、社会高度信息化的 21 世纪,伴随着现代科学技术的飞速发展,对机械零件的性能和节能环保提出了越来越高的要求。时代赋予热处理技术更多的发展内涵。众所周知,在提高钢铁零件的性能方面,热处理起着极为重要的作用。当靠单一热处理工艺方法难以满足工件的多方面性能要求时,就可采用经适当组合的几种热处理即复合热处理工艺方法,取长补短,使工件获得理想的优良性能,同时可尽量节约资源,降低成本,提高生产效率。

复合热处理技术是一新型的热处理工艺方法,它也是最重要和最有开发前景的发展方向之一。本书仅就复合热处理的基本概念以及常用的复合热处理工艺方法的特点及典型应用作了简介,以期引起广大读者的深入探讨。全书共分 7 章:1. 复合热处理概述,简要概述了复合热处理的概念,常见的分类方法,主要内容以及复合热处理的应用。2. 整体热处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例,以整体热处理为中心,探讨了其分别与整体热处理、表面热处理及化学热处理组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。3. 高能束表面热处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例;4. 表面(热)处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例。5. 复合化学热处理技术及典型实例,主要分析了化学热处理与化学热处理组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。6. 形变与热处理的复合热处理技术及典型实例,简要分析了形变与热处理(包括整体热处理、表面热处理和化学热处理)组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。7. 钢表面自纳米化与热处理的复合热处理技术及典型实例,简要分析了钢的表面自纳米化技术的特点及典型实例分析。

本书由齐宝森、李玉婕、王忠诚编写并定稿。本书在编写过程中还参考、归纳、总结了生产、科研一线的众多科技工作者的试验成果和实践经验,收集了大量宝贵的实例和技术资料,谨此向他们表示诚挚的谢意!由于编者水平有限,书中难免出现一些疏漏或不足之处,敬请广大读者和专家批评斧正!

编者

2014 年 6 月

目 录

1 复合热处理概述

1

- 1.1 “复合热处理”的概念 1
 - 1.1.1 “热处理”与“复合热处理”技术的涵义 1
 - 1.1.2 复合热处理技术的特点 2
- 1.2 复合热处理的分类、主要内容及发展前景 3
 - 1.2.1 复合热处理的分类方法 3
 - 1.2.2 复合热处理技术主要内容 4
 - 1.2.3 复合热处理技术的发展前景 4

2 整体热处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例

6

- 2.1 化学热处理+ 整体淬火的复合热处理技术及应用 6
 - 2.1.1 渗氮+ 整体淬火的复合热处理工艺 6
 - 2.1.2 氮碳共渗(软氮化)+ 整体淬火的复合热处理工艺及应用 7
 - [实例 2.1] 变速箱齿轮轴的“氮碳共渗+ 淬、回火”复合热处理工艺应用 8
 - 2.1.3 渗氮+ 回火或者时效的复合热处理工艺 11
 - 2.1.4 渗碳(碳氮共渗)与整体热处理的复合热处理工艺及应用 12
 - [实例 2.2] 20CrMnMo 重载齿轮的渗碳+ 等温-淬回火复合热处理工艺 12
 - [实例 2.3] 汽车转向节热锻模的碳氮共渗-强韧化复合热处理工艺 16
- 2.2 整体热处理+ 化学热处理的复合热处理技术及应用 20

3.5	激光表面合金化与化学热处理的复合热处理技术及应用	58
3.5.1	镀层+ 激光合金化的复合热处理技术	59
3.5.2	预渗涂层+ 激光合金化的复合热处理技术及应用	60
[实例 3.6]	40Cr 钢制螺杆表面激光合金化工艺的组织、性能与应用	60
3.6	激光冲击硬化与化学热处理的复合热处理技术及应用	63
[实例 3.7]	1Cr11Ni2W2MoV 钢激光冲击强化+ 渗铝复合热处理工艺与性能研究	64
3.7	离子束表面强化与化学热处理的复合热处理技术及应用	68
3.7.1	离子注入与化学热处理的复合热处理技术及应用	68
[实例 3.8]	Cr12MoV 模具钢渗硼+ 离子注入复合热处理工艺的组织与性能	68
3.7.2	离子镀与化学热处理的复合热处理技术及应用	70
[实例 3.9]	W6Mo5Cr4V2 螺纹冲头的液体渗氮+ 离子镀复合热处理工艺研究	70

4 表面(热)处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例 75

4.1	表面淬火与化学热处理的复合热处理技术及应用	75
4.1.1	渗碳(碳氮共渗)与高频感应淬火的复合热处理工艺及应用	75
[实例 4.1]	花键齿轮轴差值渗碳与“渗碳+ 感应淬火”复合热处理的比较	75
[实例 4.2]	塔形薄壁双联齿轮的“渗碳+ 感应淬火”复合热处理工艺	80
4.1.2	(离子)渗氮(氮碳共渗)与高频感应淬火的复合热处理工艺	84
4.1.3	高频感应淬火与低温渗硫的复合热处理工艺	85
4.1.4	低温多元共渗与高频感应淬火的复合热处理工艺及应用	86
[实例 4.3]	20 钢低温多元共渗与高频感应淬火复合热处理工艺的研究	86
4.2	表面(电)化学处理与化学热处理的复合热处理技术及应用	87
4.2.1	氧化处理与化学热处理的复合热处理工艺及应用	87

86	[实例 4.4] 20CrMo 齿轮预氧化+ 渗碳复合热处理工艺的	
92	研究	89
92	4.2.2 离子氮碳共渗与离子氧化复合热处理工艺	91
92	4.2.3 硫氮共渗与蒸汽处理的复合热处理工艺	92
93	4.2.4 渗氮+ 磷化的复合热处理强化工艺	93
93	4.2.5 电化学镀覆与化学热处理的复合热处理工艺及应用 ...	93
98	[实例 4.5] 38CrMoAl 钢表面的电刷镀+ 氮碳共渗的复	
98	合热处理工艺及应用	98
99	4.3 QPQ 复合热处理技术及应用	99
100	4.3.1 QPQ 复合热处理工艺及其特点	100
101	4.3.2 QPQ 复合热处理技术的基本原理与渗层组织特征 ...	101
102	4.3.3 QPQ 复合热处理钢件的性能与应用	102
104	4.3.4 深层 QPQ 复合热处理工艺及应用	104
106	4.3.5 超深层 QPQ 复合热处理技术的开发	106
106	4.3.6 QPQ 复合热处理技术应用的典型实例分析	106
106	[实例 4.6] 汽车常用零件 SUM24 和 SUH38 的 QPQ 复	
106	合热处理技术	106
109	[实例 4.7] N80 油田钢管经 QPQ 复合热处理后的抗腐蚀	
109	性能	109
114	[实例 4.8] W6Mo5Cr4V2 高速钢刀具的深冷与 QPQ 复	
114	合热处理工艺的研究	114

5 复合化学热处理技术及典型实例

118

118	5.1 渗金属与渗氮复合渗技术及应用	118
118	5.1.1 渗钛+ 离子渗氮的复合化学热处理强化	118
119	5.1.2 渗铬+ 渗氮的复合化学热处理	
119	(铬氮复合渗) 工艺	119
119	[实例 5.1] 低温渗铬+ 渗氮的复合渗工艺的实验	
119	研究	119
122	5.2 化学热处理强化与低温渗硫的复合渗技术及应用	122
122	5.2.1 渗碳+ 低温(电解) 渗硫的复合渗工艺	122
123	5.2.2 渗氮或碳氮共渗+ 低温(电解) 渗硫的	
123	复合渗工艺	123
124	5.2.3 典型的应用实例分析	124

[实例 5.2] 钢结硬质合金冷作模具硼-硫复合渗强化工艺	124
5.3 渗碳(碳氮共渗)与渗金属的复合化学热处理技术及应用	128
5.3.1 渗碳+ 渗钼复合化学热处理强化	128
[实例 5.3] 40CrNiMo 钢碳-钼复合化学热处理强化及应用	128
5.3.2 碳(或碳氮共渗)硼复合渗表面强化工艺	131
[实例 5.4] 16Mn 灰砂砖模板碳氮共渗+ 渗硼复合渗的组织与性能	132
5.3.3 渗碳+ 碳化物涂覆复合热处理工艺及应用	135
5.4 金属复合渗技术及应用	135
5.5 多元渗硼复合热处理技术及应用	136
5.6 渗碳与渗氮(碳氮共渗)的复合渗技术及应用	136
5.6.1 氮碳共渗+ 渗碳的复合渗工艺	136
5.6.2 渗碳+ 碳氮共渗(氰化)的复合渗工艺	136
5.6.3 离子渗碳+ 离子渗氮复合渗技术	138
5.7 气相沉积与化学热处理的复合渗技术及应用	139
5.7.1 气相沉积与化学热处理工艺特点剖析	139
5.7.2 物理气相沉积与离子渗氮的复合热处理工艺及应用	140
[实例 5.5] W18Cr4V 高速钢表面 PN+ PVD 复合热处理工艺的研究	140
5.7.3 等离子体化学气相沉积与离子渗氮的复合热处理工艺及应用	143
5.8 表面复合离子化学热处理技术及应用	143
5.8.1 离子注入与气相沉积的复合化学热处理工艺	143
5.8.2 多层硬质复合膜和纳米多层膜	143

6 形变与热处理的复合热处理技术及典型实例

145

6.1 形变过程对于扩散作用的影响	145
6.2 化学热处理与形变强化的复合热处理技术及应用	145
6.2.1 化学热处理+ 冷或高温形变的复合热处理技术及应用	145

[实例 6.1] 18Cr2Ni4WA 钢渗碳+ 喷丸强化复合热处理 工艺对性能的影响	149
6.2.2 形变强化+ 化学热处理的复合热处理技术及应用	152
[实例 6.2] 4Cr5MoSiV1 钢强力喷丸+ 离子渗氮复合热 处理工艺研究	152
6.3 热处理与表面形变的复合热处理强化技术及应用	155
6.3.1 整体热处理+ 表面形变强化的复合热处理工艺	155
6.3.2 复合热处理+ 表面形变处理的复合热处理工艺	155
6.3.3 热处理+ 表面形变的复合热处理强化技术 典型实例分析	155
[实例 6.3] 高锰钢 ZGMn13 的淬火时效+ 形变的复合热 处理强化研究	155
[实例 6.4] 20CrMnMo 钢亚温淬火+ 形变的复合热处理 强化研究	158
6.3.4 形变热处理强化工艺及应用	162
[实例 6.5] 形变热处理对铁素体耐热钢 T91 组织和性能 的影响	165
6.3.5 锻造余热节能热处理强化技术	171
[实例 6.6] 节能降耗的后桥从动锥齿轮锻造余热 退火	172
[实例 6.7] 渗碳齿轮毛坯锻造余热等温正火热处理 工艺	175
[实例 6.8] 桑塔纳轿车变速箱齿轮的锻造余热等温 正火	178
[实例 6.9] SAE8620RH 大中型齿轮锻件锻造余热正火 热处理工艺	180
6.4 钢件晶粒多边化处理+ 化学热处理的复合热处理技术	183

7 钢表面自纳米化与热处理的复合热处理技术及典型实例 184

7.1 钢铁材料表面的自纳米化	184
7.1.1 钢材表面自纳米化的含义	184
7.1.2 钢材表面自纳米化方法及原理	184
7.1.3 钢材表面自纳米化结构特征及其对性能的影响	185
7.2 钢表面自纳米化+ 化学热处理的复合热处理技术及应用	186

7.2.1	表面纳米化能大幅度降低化学热处理的 温度和时间	187
7.2.2	在低于常规化学热处理温度下, 温度越低, 表面纳米化 与粗晶处理结果的差别越明显	188
7.2.3	在相同条件下, 外界原子渗入到表面纳米结构的浓度 和基体的深度一般高于粗晶, 且浓度变化更加平缓 ...	188
7.2.4	经低温化学热处理后, 表面纳米化样品的表面性能 明显优于粗晶样品, 强化层的厚度大于粗晶样品, 且性能的变化更加平缓	188
[实例 7.1]	35 钢表面增压喷丸纳米化+ 气体氮碳共渗的 复合热处理工艺研究	189
[实例 7.2]	AISI H13 热作模具钢表面纳米化+ 渗铬复合 热处理的组织与性能研究	192

参考文献	199
------------	-----



复合热处理概述

1.1 “复合热处理”的概念

1.1.1 “热处理”与“复合热处理”技术的涵义

“热处理”系指“采用适当的方式对金属材料或工件（以下简称工件）进行加热、保温和冷却以获得预期的组织结构与性能的工艺”。热处理是机械工业中的一项十分重要的基础工艺，例如轴、轴承、齿轮、连杆等重要机械零件和工模具等都是必须经过热处理工序的，而且只要选材合适，热处理得当，就能使机械零件和工模具的使用寿命成倍、甚至十几倍的提高，实现“搞好热处理，零件一顶几”的目标，收到事半功倍的效果。因此，热处理对于充分发挥金属材料的性能潜力，提高产品的内在质量，节约材料，减少能耗，延长产品的使用寿命，提高经济效益意义重大。

在人类进入重品质、环保、节能、社会高度信息化的 21 世纪，时代赋予热处理技术更多的发展内涵。富有生命力的热处理技术发展的主线是：高品质、高效率、低能耗、清浄环保、智能化。热处理行业是耗能和环境污染大户，因而热处理生产中节能和环保技术日益受到各有关方面的高度重视。伴随着现代科学技术的飞速发展，对机械零件的性能和节能环保提出了越来越高的要求。在提高工件的性能方面，热处理起着极为重要的作用。工件所必备的性能，因其用途不同而有多方面的要求，一般总希望强度高、质量轻、价格低。当靠传统、单一的热处理方法难以满足这些要求时，可以采用经适当组合的几种热处理即复合热处理的方法，取长补短，使工件获得理想的优良性能，同时可以尽量节约资源，降低成本，提高生产效率。

那么，何谓“复合热处理”呢？所谓复合热处理，是“将多种热处理工艺合理组合，以便更有效地改善工件使用性能的复合工艺”。换言之，复合热处理就是将两种或两种以上的热处理工艺复合，或将热处理与其他加工工艺复合，它是集多种热处理工艺的优点于一身，既能保证工件的内在质量，又能达到节能的目

的,促成热处理与节能环保的协调发展和良性互动。例如,渗氮化学热处理与高频淬火表面淬火工艺的复合,整体淬火与低温渗硫化学热处理工艺的复合等。锻造余热淬火和控制轧制控制冷却也属于复合热处理范畴,它们分别是锻造工艺与热处理工艺的复合、轧制工艺与热处理工艺的复合。

1.1.2 复合热处理技术的特点

复合热处理是以使工件获得必要特性的各种单一的传统热处理工序为基础,与以提高性能、增加功能为目的而增加的热处理或其他有关工序的组合,或由前后关联的工艺改进而结合在一起进行的,能提高生产率、降低成本的具有复合功能的新工艺。故复合热处理实际上是几种热处理工序以适当的顺序和方式组合起来的一种方法。它具有参与组合的几种热处理工序的综合工艺效果。复合热处理还包括热处理与为了提高工件的强度、耐磨性、耐腐蚀性等而增加的有关前后工序的组合。单一的热处理工序,可以组合成很多种复合热处理工艺。

热处理工序的组合方式虽然很多,但在组合成复合热处理方法时,由于各种热处理工艺的处理温度不同,就必须考虑参加组合的热处理工艺的先后顺序,避免后道工序对前道工序的抵消作用。例如,前述的渗氮与高频淬火组合时,渗氮处理温度是 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$,而高频淬火后一般采用低温回火($180\sim 200^{\circ}\text{C}$),如果先渗氮后高频淬火的话,就得到了渗氮淬火层;与此相反,如果高频淬火后再渗氮,则高频淬火引起的硬化效果被渗氮处理而消除,成了调质的形式,得到的是调质氮化层。又如,如果回火温度与参加组合的热处理工序处理温度一致,则回火可与后面的热处理工序同时进行。再如,在钢件表面单一沉积 TiN 涂层,因 TiN 具有很高的硬度、摩擦系数低、抗蚀性好而广泛用于工件表面,但由于其与基体的结合力较弱,承受的载荷不高。若工件表面在 500°C 左右先经离子渗氮化学热处理,形成了细小、均匀分布的氮化物,提高了表面硬度,同时也为 TiN 层提供了强有力的机械支撑,使复合涂层的结合力增强。因此该复合热处理涂层的疲劳强度很高,同时又具有抗塑变能力。该复合热处理强化技术可应用于高速重载齿轮,使之抗冲击力强且具有优异的耐磨性。

总之,复合热处理技术不是几种单一热处理工艺的简单叠加,而是要根据工件使用性能的要求和每一种热处理工艺的特点将它们有机地组合在一起,进而取长补短、使优势互补,以达单一热处理工艺所达不到的提高工件综合性能、满足更加复杂的使用要求,或是为了降低生产成本、节能环保、提高生产效率之目的。复合热处理技术,诸如渗氮+高频淬火(或淬火)、氮碳共渗+高频淬火、渗碳淬火+低温渗硫、调质+硫氮共渗、整体淬火+氧氮化处理等,更能发挥技术的优点,是未来热处理技术的重要发展方向之一。

1.2 复合热处理的分类、主要内容及发展前景

1.2.1 复合热处理的分类方法

早期资料介绍,依据复合热处理的目的,可将其大致分为三类,如表 1.1 所示。根据参与组合的热处理工序,还可分为与渗氮有关的复合热处理,与渗碳有关的复合热处理,与烧结工件有关的复合热处理、与低温渗硫有关的复合热处理等。

表 1.1 复合热处理的分类和实例

整体淬火	表面硬化	表面润滑化	复合热处理(举例)
(1)淬火、高温回火 (调质),(合金钢) (2)淬火、低温回火 (工具钢)	(1)渗碳淬火 (2)氮化 (3)软氮化 (4)高频淬火 (5)火焰淬火	(1)渗硫(高温) (2)渗硫(低温) (3)渗硫、氮化	(1)氮化+整体淬火 (2)氮化+高频淬火 (3)软氮化+整体淬火 (4)软氮化+高频淬火 (5)蒸汽处理+氮化 (6)渗碳+高频淬火 (7)渗碳淬火+低温渗硫 (8)高频淬火+低温渗硫 (9)调质+渗硫、氮化 (10)调质+低温渗硫

按照工艺总称、工艺类型和工艺名称,将热处理工艺按三个层次进行分类,如表 1.2 所示。参照热处理工艺的分类方法,可将复合热处理分为:整体热处理与热处理(包括整体热处理,表面热处理和化学热处理)的复合热处理工艺(第 2 章),表面热处理与化学热处理的复合热处理工艺(第 3、4 章),复合表面热处理工艺(第 5 章),复合化学热处理工艺(第 6 章),形变热处理工艺(第 7 章)以及钢表面的自纳米化与热处理(包括整体热处理,表面热处理和化学热处理)的复合热处理工艺(第 8 章)。

表 1.2 热处理工艺分类及代号(GB/T12603—2005)

工艺总称	代 号	工艺类型	代 号	工 艺 名 称	代 号
热处理	5	整体热处理	1	退火	1
				正火	2
				淬火	3
				淬火和回火	4
				调质	5
				稳定化处理	6
				固溶处理;水韧处理	7
				固溶处理+时效	8

续表

工艺总称	代 号	工艺类型	代 号	工 艺 名 称	代 号
热处理	5	表面热处理	2	表面淬火和回火	1
				物理气相沉积	2
				化学气相沉积	3
				等离子体增强化学气相沉积	4
				离子注入	5
	5	化学热处理	3	渗碳	1
				碳氮共渗	2
				渗氮	3
				氮碳共渗	4
				渗其他非金属	5
				渗金属	6
				多元共渗	7

1.2.2 复合热处理技术主要内容

本书仅从以下 7 个方面简述各类复合热处理工艺的特点及其应用。

i. 复合热处理概述，简要概述了复合热处理的概念，常见的分类方法，主要内容以及复合热处理的应用。

ii. 整体热处理与热处理的复合热处理技术及典型实例，以整体热处理为中心，探讨了其分别与整体热处理、表面热处理及化学热处理组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。

iii. 高能束热处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例。

iv. 表面淬火、表面（电）化学处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例。这两章概括说明了表面热处理（也含表面化学与电化学处理）与化学热处理的复合热处理技术的特点及典型实例分析。

v. 复合化学热处理技术及典型实例，主要分析了化学热处理与化学热处理组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。

vi. 形变热处理技术及典型实例，简要分析了形变与热处理（包括整体热处理，表面热处理和化学热处理）组合的复合热处理技术的特点及典型实例分析。

vii. 钢表面自纳米化与热处理的复合热处理技术及典型实例，简要分析了钢的表面自纳米化技术的特点及典型实例分析。

1.2.3 复合热处理技术的发展前景

复合热处理工艺已获广泛应用，并取得良好效果。德国、法国、美国、日本

等,包括我国在内的各国正在加大投资力度,研究发展新型特殊的复合热处理技术,其更能发挥技术的优势,是未来热处理技术的一个发展方向。

要使复合热处理发挥最大效益,一方面必须使热处理的工件具有多种功能或其性能、寿命有大幅度的提高;另一方面,在复合热处理工艺实施过程中,应当保证热处理工序的简化和热处理周期的缩短,以利于大幅度节约能源,有效地减少“三废”排放,这样的复合热处理才是优质、高效和有价值的。

复合热处理技术将是最重要和最有开发前景的发展方向之一。但是它目前的发展还只处于起步阶段,远远不够成熟。应当持续地进行大量的研究与开发工作,以促进它在工程实际中的广泛应用。

1.1 复合热处理的概念

复合热处理是指将两种或两种以上的热处理工艺,按照一定的顺序,在同一工件上进行,以达到一种或多种热处理的目的。复合热处理可以分为两种类型:一种是同时复合热处理,即在同一时间、同一地点,对同一工件进行两种或两种以上的热处理;另一种是顺序复合热处理,即在不同的时间、不同的地点,对同一工件进行两种或两种以上的热处理。

1.1.1 同时复合热处理

同时复合热处理是指在同一时间、同一地点,对同一工件进行两种或两种以上的热处理。这种复合热处理可以分为两种类型:一种是同时复合加热,即在同一时间、同一地点,对同一工件进行两种或两种以上的加热;另一种是同时复合冷却,即在同一时间、同一地点,对同一工件进行两种或两种以上的冷却。同时复合热处理的特点是:可以同时实现多种热处理的目的,缩短热处理周期,节约能源,提高生产效率。

同时复合热处理的应用非常广泛,例如:在钢铁热处理中,可以同时实现加热、保温、冷却、回火等多种热处理的目的;在有色金属热处理中,可以同时实现加热、保温、冷却、回火等多种热处理的目的;在塑料热处理中,可以同时实现加热、保温、冷却、回火等多种热处理的目的。同时复合热处理的应用,不仅可以提高热处理的质量和效率,还可以降低热处理的成本,具有重要的经济意义。



图 1-1 同时复合热处理工艺示意图



图 1-2 顺序复合热处理工艺示意图

2

整体热处理与化学热处理的复合热处理技术及典型实例

2.1 化学热处理+ 整体淬火的复合热处理技术及应用

工件渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗（软氮化）、渗硼等化学热处理又称为表面合金化，其后再进行直接的或再加热淬火，可以减少淬火加热所需能量并有效地提高材料性能。

2.1.1 渗氮+整体淬火的复合热处理工艺

氮化+淬火的复合热处理工艺过程亦称氮化淬火，它首先在美国得以应用，叫做NDUR法。热处理工艺对淬火的最佳要求是硬度高，不变形开裂，并且表层呈现残余压应力状态。事实上，完全淬透的钢表层却残留着拉应力。这是由于淬火冷却产生马氏体转变时，表层比心部更早冷却至 M_s 点，而马氏体与过冷奥氏体的比体积不同，使心部承受压应力而表层承受拉应力。由于表层残余拉应力的存在，使完全淬透钢件的疲劳强度等性能降低。

如图2.1所示，工件渗氮后再淬火，则由于表层渗入氮而使 M_s 点降低，所以尽管表层冷却较快，反而表层与心部相比，马氏体转变更迟。由于表层与心部相变先后顺序的颠倒，使表层呈现残余压应力，从而能够显著提高钢件的疲劳强度。试验表明，经上述处理，使用寿命可提高3~6倍。如果在渗氮淬火后再进行冷处理，使表层的马氏体转变更为彻底，则表层的残余压应力更大，强化效果更好。

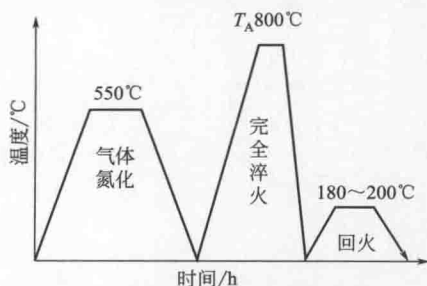


图 2.1 渗氮+完全淬火的复合热处理工艺曲线

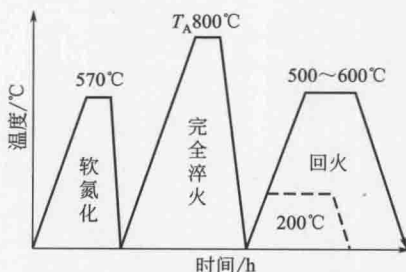


图 2.2 软氮化+完全淬火的复合热处理工艺曲线