

# 热处理手册

第2版  
第1卷

机械工业出版社

TG 15-62

R 22

:1

# 热 处 理 手 册

第 2 版

第1卷 工 艺 基 础

中国机械工程学会热处理专业学会  
《热处理手册》编委会编

G716/01



机 械 工 业 出 版 社

221242

热处理手册是一部热处理专业的综合性工具书。本版为第2版，共4卷。第1卷为工艺基础；第2卷为典型零件的热处理；第3卷为热处理设备；第4卷为热处理质量控制与检验方法。

本书为第1卷，共11章。内容包括金属热处理加热、钢铁热处理、非铁金属热处理、铁基粉末冶金件及硬质合金热处理、功能材料热处理等。

本书可供热处理工程技术人员和车间班组使用，也可供高校和中专金属材料及热处理专业师生参考。

## 热 处 理 手 册

第 2 版

### 第1卷 工 艺 基 础

中国机械工程学会热处理专业学会

《热处理手册》编委会编

责任编辑：丁文华 韩会民 责任校对：刘志文  
封面设计：刘 代 版式设计：胡金瑛  
责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张40·插页2·字数977千字

1982年12月北京第一版

1991年7月北京第二版·1991年7月北京第三次印刷

印数 28,551—33,550·定价：30.00元

ISBN 7-111-02357-9/TG·561

## 中国机械工程学会热处理专业学会 《热处理手册》第二版编委会名单

**顾问** 周志宏 周惠久  
**主任委员** 孙大涌  
**副主任委员** 雷廷权 章守华 樊东黎  
**委员** 孙大涌 雷廷权 章守华 樊东黎 于恒 朱沅浦 裘汲 刘迨  
邓洋 戚正风 宋余九 侯增寿 徐佐仁 丁文华 酆振声 沈百全  
许长生  
**《热处理手册》总主编**  
朱沅浦 侯增寿 邹康宏  
**本卷主编** 侯增寿 杨思齐

## 序

热处理是机械制造工业中关键工艺之一，对发挥材料潜力、节约用材、延长机器零件使用寿命起着重要的作用。为了促进技术交流，推广先进经验，指导正确的工艺操作，1972年由原一机部机械研究院组织国内有热处理专业的院校教师、研究院所和部分企业的有经验的技术人员共同编写了《热处理手册》，出版后曾两次印刷，深受广大读者欢迎。

但是，第一版《热处理手册》从编写至今已逾十年，这十多年里国内外热处理技术发展很快，我国自改革开放以后，又引进了许多先进技术及装备。在这种情况下，如不对《热处理手册》进行修订，将不能满足生产和技术发展的要求，起不到工具书的作用。有鉴于此，机械工业出版社同中国机械工程学会热处理专业学会负责组织国内专家、学者按照实用性、可靠性、先进性、科学性的原则，从速改写、修订，达到能正确指导生产促进技术进步的作用。

此次改写虽与第一版有一定的继承性，但在内容上根据近年来国内外在热处理技术上的发展状况，结合我国企业应用的现状作了切合实际的介绍，增加了较多的新内容。一些参数大多来自工厂和科研单位的实用数据，是比较可靠的，对于一些过时的工艺则作了必要的删节，成为一本目前适用的热处理工具书，这必将对机械工业提高产品质量，发展新产品，起到应有的作用。

陆燕萍

## 前 言

1972年受一机部的委托由原一机部机械研究院组织了全国各地44个工厂、高校、科研单位的一百余位工程技术人员开始编写和审定我国自编的第一部综合性的热处理专业手册。出版后，深受广大读者欢迎。

手册第一版的编写与出版毕竟是在特殊历史条件下完成的。由于种种条件的限制和在编写思想上的束缚，有许多不尽如人意之处，加之近十余年来热处理技术的飞速发展，手册第一版的许多内容已使人感到过时和陈旧。因此，根据机械工业出版社的倡议，中国机械工程学会热处理专业学会第二届第三次理事会决定，组成手册编辑工作委员会开展对《热处理手册》重新编写和修订工作。由于参加第一版编写人员的工作性质和单位多有变化，只得重新组织手册第二版的编写工作班子。经过本行业各方面的专家五十余人，近四年的共同努力，完成了四卷书稿的编写和审定工作。

本版的主要读者对象明确规定为从事热处理生产的工程技术人员，编写的指导思想是以总结国内先进生产实践经验和科研成果为主，同时吸收国外先进技术，所列数据和选用资料必须具有实用性、可靠性、科学性和先进性。本版和第一版相比在以下方面作了一系列重要调整和改动。

1. 第一卷为“工艺基础”，针对本版规定的读者对象，这一卷的提纲重新进行了编排，删去了一些不必要的原理内容，增添了“加热”一章；把钢的化学热处理分为“奥氏体状态”和“铁素体状态”化学热处理；增加了“表面热处理”和“其它热处理”的份量，把原来“磁性合金的热处理”扩大为“功能合金的热处理”，使手册内容更符合“实用性”和“先进性”的要求。

2. 在第二卷“典型零件的热处理”中，除合理调整原有各章内容外，增加了《飞机零件的热处理》和“手表、自行车、缝纫机和纺织机械零件的热处理”两章，在各章内容中对于零件的热处理畸变和控制给予了足够的重视。举出的例子不是照搬某厂的现行工艺，而是通过分析比较国内外先进工艺而优选出来的。

3. 在第三卷“热处理设备”中把电阻炉，尤其是真空热处理炉和可控气氛发生设备作为重点，增补了热处理质量的自动控制和检测的内容，对表面热处理、离子热处理、高密度能热处理和表面沉积设备也给予了必要的重视，增加了不少近代先进设备类型，在车间设计一章中增补了近代的设备设计思想和方法。

4. 第四卷为“热处理质量控制与检验方法”。从第一版的以质量检验方法为主，改为以质量控制为中心，增添了“热处理质量管理与控制”一章。把“钢的火花鉴别”一章扩大为“金属材料化学成分检验与鉴别”，把“宏观和微观组织检验”分为“宏观”和“微观”两章。在“力学性能试验”和“相变相分析方法”等章节中补充了大量近代的先进方法。把原附录中的部分有关数据在作了大量补充、编排与处理之后专门增列为一章，更便于读者查考。

由此可见，手册第二版实际上绝大部分内容是重新编写，而不是简单的修改补充，因而其内容将更为先进和实用，对生产、科研和教学一定会起到更大的作用。

《热处理手册》编辑工作委员会是一个常设机构。按照热处理专业学会第二届第三次理事扩大会议决议，手册将一版一版地修订下去，不断修改过时落后的内容，补充最新的实践经验和科研成果，使《热处理手册》永远保持为推动热处理生产技术不断进步的有力手段。

为了明确对所编写内容的责任和对编写者劳动的承认，编委会决定第二版在每卷各章署上编写者单位和作者姓名。第一版由于历史原因，未列出编写者姓名，只有编写单位名称，编写第二版时又大多易人，为了弥补这一缺陷，编委会决定将参加第一版编写的人员名单列出于下：

第一版全书主编 孙大涌 副主编 樊东黎 雷廷权

第一分册编写负责人 樊东黎 孙大涌

编写人员 雷廷权 王世清 乔毅南 李凤照 孙希泰 刘大燊  
洪班德 孙升荣 宋炎炎 樊东黎 姚忠凯 高彩桥  
杨德庄 周 熙 李一平 沈焕祥 吴忍畊 崔忠圻  
杨昌焜 汤锡斌 陈显仪 莫志雄

手册的编写得到了机电部科技司、机电部机械科学研究院、机电部北京机电所、机电部机械情报所和机械工业出版社各级领导和有关同志的大力支持，在此一并致谢。

一些为手册第一版尽过力的同志，因时隔过久难免漏记，编委会对这些同志诚挚地致歉并恳请鉴谅。

中国机械工程学会热处理专业学会  
《热处理手册》第二版编委会

### 常用符号名称对照表

符号	名 称	单 位	符号	名 称	单 位
A	奥氏体		F	铁素体	
a	1. 厚度	mm, cm	F	面积	mm <sup>2</sup> , cm <sup>2</sup>
	2. 面积	mm <sup>2</sup> , cm <sup>2</sup>	f	挠度	mm
	3. 点阵常数	Å, kx	G	切变弹性模量	MPa(≈0.1kgf/mm <sup>2</sup> )
	4. 裂纹长度	mm	G	石墨	
Ac <sub>1</sub>	加热下临界点	°C	H	1. 磁场强度	A/m(≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
Ac <sub>3</sub>	亚共析钢加热上临界点	°C		2. 高度	mm, cm
Ac <sub>cm</sub>	过共析钢加热上临界点	°C	h	高度	mm, cm
A <sub>K</sub>	冲击功	J(≈0.1kgf·m)	H <sub>c</sub>	矫顽力	A/m(≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
a <sub>K</sub>	冲击韧性值(冲击值)	J/cm <sup>2</sup> (≈.1kgf·m/cm <sup>2</sup> )	H <sub>m</sub>	达到饱和磁感应强度时的磁场强度	A/m(≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
A <sub>r1</sub>	冷却下临界点	°C	HB	布氏硬度值	
A <sub>r2</sub>	亚共析钢冷却上临界点	°C	HK	努氏硬度值	
A <sub>rcm</sub>	过共析钢冷却上临界点	°C	HRA	洛氏A标度硬度值	
B	贝氏体		HRB	洛氏B标度硬度值	
B	1. 磁感应强度	T(特斯拉)≈10 <sup>4</sup> Gs	HRC	洛氏C标度硬度值	
	2. 宽度	mm, cm	HV	维氏硬度值	
B <sub>上</sub>	上贝氏体		L	液态相	
B <sub>下</sub>	下贝氏体		M	马氏体	
B <sub>r</sub>	剩余磁感	T(特斯拉)≈10 <sup>4</sup> Gs	Md	形变诱发马氏体转变开始点	°C
B <sub>s</sub>	1. 贝氏体转变开始点	°C	Me	金属元素	
	2. 饱和磁感	T(特斯拉)≈10 <sup>4</sup> Gs	Mf	马氏体转变终止点	°C
C	碳化物		Ms	马氏体转变开始点	°C
c	比热	J/(kg·K)	N	循环次数	
c <sub>p</sub>	定压比热	J/(kg·K)	P	珠光体	
c <sub>v</sub>	定容比热	J/(kg·K)	P	1. 压强	MPa
COD	裂纹尖端张开位移	mm		2. 外加载荷	N(≈0.1kgf)
D	1. 外径	mm, cm	R	1. 半径	mm, cm
	2. 扩散系数	m <sup>2</sup> /s		2. 电阻	Ω
d	1. 直径	mm, cm	r	半径	mm, cm
	2. 内径	mm, cm	RE	稀土族元素	
d	滴		S	面积	mm <sup>2</sup> , cm <sup>2</sup>
E	正弹性模量	MPa(≈0.1kgf/mm <sup>2</sup> )			



(续)

符号	名称	单位	符号	名称	单位
S	索氏体		$\varepsilon$	应变	mm/mm, %
s	真压力	MPa	$\lambda$	1. 热导率	W/(m·K) [=1/418.68 cal/(cm·s·K)]
T	托氏体			2. 波长	Å, μm, cm
T	温度	K, °C	$\mu$	磁导率	H/m
t	时间	h, min, s	$\rho$	1. 密度	kg/m <sup>3</sup>
V	电压	V		2. 电阻系数	Ω·m
V	1. 体积	cm <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> , mm <sup>3</sup> , L	v	泊松比	
	2. 速度	m/s, km/h	$\sigma$	σ相	
	3. 加热速度	°C/h, °C/min, °C/s	$\sigma$	应力	MPa
V <sub>0</sub>	蠕变速度	%/h	$\sigma_{-1}$	光滑试样对称弯曲试验时的疲劳极限	MPa
W	1. 功率	W, kW	$\sigma_{0.2}$	永久变形为0.2%时的屈服强度	MPa
	2. 宽度	mm, cm	$\sigma_b$	抗拉强度	MPa
$\alpha$	α相		$\sigma_{bb}$	抗弯强度	MPa
$\beta$	1. β相		$\sigma_{bc}$	抗压强度	MPa
	2. β射线		$\sigma_e$	弹性极限	MPa
$\gamma$	1. γ相		$\sigma_N$	循环周次为N时的疲劳强度	MPa
	2. γ射线		$\sigma_p$	比例极限	MPa
$\delta$	δ相		$\sigma_s$	屈服强度	MPa
$\delta$	1. 延伸率	%	$\tau$	1. 切应力	MPa
	2. 厚度	mm, cm		2. 时间	s, min, h
$\delta_5$	5倍试样的延伸率	%	$\phi$	直径	mm, cm
$\delta_{10}$	10倍试样的延伸率	%	$\psi$	断面收缩率	%
$\varepsilon$	ε相				

# 目 录

序

前言

常用符号名称对照表

第一章 概论..... 1

第二章 金属热处理加热..... 5

第一节 加热介质及加热计算..... 5

一、介质分类..... 5

二、金属在各种介质中加热时的行为..... 6

三、加热计算公式及常用图表..... 16

四、加热节能措施..... 21

第二节 可控气氛..... 23

一、分类及用途..... 23

二、制备方法..... 23

三、炉气控制原理..... 51

四、炉气检测方法..... 55

第三节 加热熔盐和流态床..... 61

一、加热熔盐的成分及用途..... 61

二、盐浴的脱氧及脱氧剂..... 68

三、长效盐..... 70

四、流态床加热的特点..... 70

第四节 真空中的加热..... 71

一、金属在真空中加热时的行为..... 72

二、金属在真空中的加热速度..... 73

参考文献..... 74

第三章 钢的整体热处理..... 75

第一节 铁碳合金状态图与钢的平衡组织..... 75

一、固态纯铁及铁碳合金中的平衡相..... 75

二、铁碳合金状态图..... 77

三、铁碳合金发生相变的临界温度和平衡组织..... 78

四、合金元素对铁碳合金平衡相变温度及Fe-Fe<sub>3</sub>C状态图中各特性点位置的影响..... 79

五、合金钢中的平衡相..... 82

第二节 奥氏体..... 85

一、由平衡组织形成奥氏体..... 85

二、由非平衡组织形成奥氏体..... 87

三、断口遗传..... 88

四、奥氏体晶粒的长大..... 88

第三节 过冷奥氏体发生的转变..... 90

一、珠光体转变及珠光体..... 90

二、马氏体与马氏体转变..... 93

三、贝氏体与贝氏体转变..... 97

四、奥氏体冷却转变动力学图..... 102

第四节 钢回火时发生的转变..... 113

一、碳钢回火时发生的转变..... 113

二、合金元素对回火转变的影响..... 114

三、钢回火时力学性能的变化..... 115

四、非马氏体组织回火时发生的变化..... 118

第五节 钢的退火与正火..... 118

一、退火及正火的主要目的和应用..... 118

二、退火及正火工艺..... 119

三、退火及正火缺陷..... 121

第六节 钢的淬火及回火..... 121

一、钢的淬透性..... 121

二、淬火冷却时产生的内应力..... 126

三、淬火工件中残余的内应力..... 127

四、变形(畸变)与开裂..... 128

五、淬火工艺..... 131

六、回火..... 140

七、深冷处理..... 152

第七节 淬火冷却介质..... 153

一、淬火介质的特性..... 154

二、淬火介质..... 156

参考文献..... 188

第四章 表面热处理..... 189

第一节 感应加热热处理..... 189

一、感应加热原理..... 189

二、快速加热的相变特点..... 193

三、感应器..... 198

四、高频、超音频、中频感应加热

表面淬火工艺.....	213	三、渗硼后的热处理.....	288
五、工频感应加热表面淬火工艺.....	225	四、渗硼工件的质量检验、常见	
六、感应加热表面淬火工件的回火.....	227	缺陷及防止措施.....	288
第二节 脉冲表面淬火.....	229	第四节 渗铝.....	289
一、特点.....	229	一、渗铝方法.....	289
二、脉冲淬火的加热方法.....	229	二、渗铝层的组织与性能.....	291
三、超高频脉冲感应加热淬火.....	230	三、渗铝的应用.....	295
四、大功率脉冲感应加热淬火.....	231	四、渗铝工件的质量检验、常见	
第三节 火焰加热表面淬火.....	232	缺陷及防止措施.....	296
一、加热方法.....	232	第五节 渗铬.....	297
二、各种火焰加热表面淬火方法的特点.....	233	一、渗铬方法.....	297
三、火焰加热表面淬火工艺.....	234	二、影响渗铬层厚度及其组织的因素.....	300
第四节 电接触加热表面淬火.....	236	三、渗铬层的性能.....	303
一、电接触加热表面淬火工艺.....	237	四、渗铬件的质量检验、常见	
二、电接触加热表面淬火机.....	237	缺陷及防止措施.....	305
第五节 电解液加热表面淬火.....	238	第六节 渗硅.....	306
第六节 浴炉加热表面淬火.....	238	一、渗硅方法.....	306
参考文献.....	239	二、渗硅层的厚度、组织与性能.....	307
<b>第五章 钢在奥氏体状态</b>		第七节 渗钒、渗铌和渗钛.....	309
<b>的化学热处理</b> .....	240	一、碳化物型渗层的形成模式.....	309
第一节 钢的渗碳.....	240	二、工艺方法.....	310
一、基本原理.....	240	三、碳化物层的组织与性能.....	310
二、气体渗碳.....	242	四、工业应用及注意事项.....	313
三、液体渗碳.....	257	第八节 共渗与复合渗.....	313
四、固体渗碳.....	259	一、硼和其他元素共渗与复合渗.....	313
五、其他渗碳方法.....	262	二、铝和其他元素共渗与复合渗.....	315
六、渗碳用钢及渗碳后的热处理.....	266	三、铬和其他元素共渗与复合渗.....	317
七、渗碳层的组织和性能.....	268	参考文献.....	320
八、渗碳件质量检查、常见缺陷		<b>第六章 钢在铁素体状态</b>	
及防止措施.....	269	<b>的化学热处理</b> .....	322
第二节 钢的碳氮共渗.....	271	第一节 渗氮.....	322
一、同时在钢中渗入碳和氮的特点.....	271	一、渗氮钢及其预先热处理.....	323
二、气体碳氮共渗.....	272	二、气体渗氮.....	324
三、液体碳氮共渗.....	275	三、其他渗氮方法.....	330
四、碳氮共渗用钢及共渗后的热处理.....	277	四、渗氮层的组织、结构与性能.....	332
五、碳氮共渗层的组织和性能.....	279	五、渗氮件的质量检查、常见	
六、碳氮共渗工件质量检查与常见		缺陷及防止措施.....	335
缺陷及防止措施.....	280	六、缩短渗氮周期的方法.....	338
第三节 渗硼.....	282	第二节 氮碳共渗.....	341
一、渗硼方法.....	282	一、气体氮碳共渗.....	341
二、渗硼层的组织与性能.....	284	二、熔盐氮碳共渗及其与	
		抛光、氧化相结合的复合处理.....	342

三、氮碳共渗及NOPO复合 处理后的渗层组织与性能..... 346	二、磁场淬火及回火..... 401
第三节 渗硫、硫氮共渗与硫氮碳共渗..... 348	三、磁场渗氮..... 401
一、渗硫(硫化)..... 348	第六节 循环热处理..... 401
二、硫氮共渗..... 350	第七节 激光热处理..... 402
三、硫氮碳共渗..... 352	一、激光..... 402
第四节 渗锌..... 360	二、激光热处理设备..... 402
一、渗锌的主要方法..... 361	三、激光加热金属的特点..... 404
二、渗锌层的组织、性能与应用..... 361	四、激光表面淬火..... 405
参考文献..... 362	五、其他激光热处理..... 405
<b>第七章 其它热处理技术..... 363</b>	第八节 电子束表面淬火..... 406
第一节 形变热处理..... 363	参考文献..... 408
一、低温形变热处理(亚稳奥氏体的 形变淬火)..... 363	<b>第八章 铸铁热处理..... 409</b>
二、高温形变热处理(稳定奥氏体的 形变淬火)..... 366	第一节 白口铸铁的热处理..... 409
三、等温形变淬火..... 369	一、去应力退火..... 409
四、马氏体转变过程中的形变..... 370	二、软化退火..... 410
五、马氏体转变后的形变时效..... 371	三、淬火及回火..... 410
六、扩散型相变后的形变时效..... 373	四、等温淬火..... 410
七、其他形变热处理方法..... 373	第二节 生产可锻铸铁的石墨化退火..... 411
八、形变时效..... 374	一、生产白心可锻铸铁 的脱碳石墨化退火..... 411
九、锻造余热正火..... 376	二、生产黑心可锻铸铁的石墨化退火..... 412
十、形变化学热处理..... 376	三、生产珠光体可锻铸铁的热处理..... 415
第二节 电解热处理..... 376	第三节 非白口铸铁固态相变特点..... 417
一、电解渗碳..... 376	一、Fe-C-Si三元合金状态图变温截面..... 417
二、电解渗硼..... 378	二、杂质及合金元素对 铸铁共析临界温度的影响..... 418
三、电解渗氮(电解气相催渗氮)..... 379	三、非白口铸铁加热 及冷却时发生的相变..... 419
第三节 离子化学热处理..... 380	第四节 非白口铸铁的退火与正火..... 419
一、离子化学热处理原理..... 380	一、灰口铸铁的去应力退火..... 419
二、离子渗氮及氮碳共渗..... 381	二、灰口铸铁及球墨铸铁的软化退火..... 420
三、离子渗碳及碳氮共渗..... 388	三、灰口铸铁、球墨铸铁 及蠕墨铸铁的正火..... 423
四、离子渗硫及硫氮共渗..... 389	第五节 非白口铸铁的淬火和回火..... 428
五、离子渗硼与渗金属..... 390	一、灰口铸铁的淬火与回火..... 430
第四节 气相沉积技术..... 391	二、球墨铸铁的淬火与回火..... 431
一、化学气相沉积..... 392	三、球墨铸铁的等温淬火..... 433
二、物理气相沉积..... 393	四、蠕墨铸铁的淬火与回火..... 435
三、气相沉积层的特性..... 398	参考文献..... 436
四、其他问题..... 400	
第五节 磁场热处理..... 400	
一、磁场退火..... 400	

<b>第九章 非铁金属的热处理</b> ..... 437	<b>第二节 铁基粉末冶金件的热处理</b> ..... 503
<b>第一节 铜及其合金的热处理</b> ..... 437	一、铁基粉末冶金件热处理用炉 及保护气氛..... 505
一、铜及铜合金..... 437	二、铁基粉末冶金件的淬火、回火 和时效处理..... 506
二、铜及铜合金的热处理概述..... 442	三、铁基粉末冶金件的化学热处理..... 509
三、工业纯铜的热处理..... 443	四、铁基粉末冶金件的电镀..... 513
四、黄铜的热处理..... 444	<b>第三节 铁基粉末冶金件热处理后的检验</b> ... 514
五、青铜的热处理..... 446	一、表观硬度的测定..... 514
六、白铜的热处理..... 454	二、化学热处理渗层的测定..... 515
<b>第二节 铝及铝合金的热处理</b> ..... 455	<b>第四节 钢结硬质合金的热处理</b> ..... 518
一、铝及铝合金..... 455	一、钢结硬质合金的化学成分..... 518
二、变形铝合金的固溶 处理与时效处理..... 462	二、钢结硬质合金的热处理..... 519
三、变形铝合金的退火..... 472	三、钢结硬质合金的组织与性能..... 522
四、铆钉线材铝合金的热处理..... 474	<b>第五节 硬质合金的热处理</b> ..... 528
五、美国变形铝合金热处理 状态标记法及Al-Li 合金..... 475	一、硬质合金的牌号、化学成分 和物理、力学性能..... 528
六、铸造铝合金的热处理..... 477	二、硬质合金的热处理..... 530
七、铝合金的热处理缺陷..... 480	参考文献..... 532
<b>第三节 镁合金的热处理</b> ..... 482	<b>第十一章 功能合金的热处理</b> ..... 533
一、镁及镁合金..... 482	<b>第一节 磁性合金的热处理</b> ..... 533
二、镁合金热处理的主要类型..... 484	一、软磁合金的热处理..... 533
三、热处理设备和操作..... 486	二、永磁合金的热处理..... 548
四、热处理缺陷及防止方法..... 487	<b>第二节 膨胀合金的热处理</b> ..... 559
五、镁合金热处理安全技术..... 488	一、低膨胀合金的热处理..... 559
<b>第四节 钛及钛合金的热处理</b> ..... 489	二、铁磁性定膨胀合金的热处理..... 568
一、钛合金中的合金元素..... 489	三、无磁性定膨胀合金的热处理..... 577
二、钛合金的分类..... 491	四、高膨胀合金的热处理..... 581
三、钛合金中的不平衡相变..... 493	<b>第三节 弹性合金的热处理</b> ..... 584
四、钛合金的热处理工艺..... 494	一、高弹性合金的热处理..... 584
五、影响钛合金热处理质量的因素..... 500	二、恒弹性合金的热处理..... 608
参考文献..... 500	参考文献..... 618
<b>第十章 铁基粉末冶金件     及硬质合金的热处理</b> ..... 501	<b>索引</b> ..... 619
<b>第一节 铁基粉末冶金件的制造过程</b> ..... 503	

# 第一章 概 论

太原工业大学 侯增寿

热处理是机器零件及工具制造过程中的重要工序，它对发掘金属材料强度潜力、改善零件使用性能、提高产品质量和延长其使用寿命具有重要意义。热处理在改善毛坯工艺性能以利于冷、热加工方面也有重大作用。在许多情况下，热处理质量高低对制成品的质量有举足轻重的影响。

近30年来，各种各样的新技术不断被开发应用，热处理的范畴迅速扩大，传统的定义已不能完全概括各种金属热处理工艺的基本过程、特点和目的，对现有热处理工艺作出令人满意的分类也已十分困难。不过，现有热处理工艺有一个共同特点，那就是它们都要经过加热和冷却这两个基本过程。根据加热条件和特点以及工艺效果和目的，可以把金属热处理分为整体热处理、表面热处理和化学热处理等三大类。整体热处理的主要特点是整体加热工件。表面热处理的主要特点是通过快速加热只使工件表面层（下称表层）达到预定温度。化学热处理的主要特点是工件在特定介质中加热并在规定时间内保温，使其化学成分（通常是表层）发生预期的变化。这三大类又可区分为若干门类，如表1-1-1所示。

表1-1-1 金属热处理工艺分类

类 别	工 艺 名 称	工 艺 特 点	目 的
整 体 热 处 理	基础工艺	再结晶退火	消除加工硬化效应
		扩散退火	消除铸件中的晶内偏析
		去应力退火	消除工件中的内应力
		石墨化退火	消除铸铁中的共晶或共析碳化物
		退火	改善金属组织、提高塑性、改善加工性能
		正火	改善低碳钢的加工性能、使中碳钢获得一定强韧性，消除过共析钢的网状碳化物
	其他方法	淬火及固溶热处理	获得某种过饱和固溶体或其它不平衡组织使金属具有特定的使用性能，或与回火(时效)配合使金属具有特定的强韧性
		回火及时效处理	与淬火配合使金属获得预期的强韧性或消除淬火时产生的内应力
		形变淬火	提高金属的强韧性
		形变时效	提高时效强化效果
表面热处理	磁场退火	提高软磁性材料的磁性，细化金属晶粒	
	磁场淬火	提高钢的强韧性	
	磁场回火	提高钢的强韧性	
表面热处理	火焰加热表面淬火	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性	
	感应加热表面淬火	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性	

(续)

类别	工艺名称	工艺特点	目的	
表面热处理	激光加热表面淬火	用激光快速短时加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性	
	电子束加热表面淬火	用电子束快速加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性	
	激光上光	用激光快速加热使薄的表层熔化	使工件表层变为非晶态物质	
	激光共晶化	用激光快速加热使薄的表层熔化	使工件表层形成共晶组织	
	电解液加热表面淬火	在电解液中通电快速加热	提高工件表面的耐磨性	
	化学气相沉积	通过热解合金过程在工件表面形成沉积层	使工件表面耐磨、耐蚀	
	物理气相沉积	通过真空蒸发真空溅射在工件表面形成沉积层	使工件表面耐磨、耐蚀	
化学热处理	奥氏体状态化学热处理	渗碳 在能够提供活性碳原子的介质中加热奥氏体化后保温	提高钢制工件表层的碳含量并使之在淬火后具有高硬度	
	碳氮共渗	在能够同时提供碳氮活性原子的介质中加热奥氏体化后保温	提高钢制工件表层的碳含量并使之在淬火后具有高硬度	
	渗其他非金属(B、Si等)	在能够提供渗入元素活性原子的介质中加热保温	提高材料耐磨性及耐蚀性	
	渗金属(Cr、Al、V等)	在能够提供渗入元素活性原子的介质中加热保温	提高材料耐磨性及耐蚀性	
热处理	铁素体状态化学热处理	渗氮 在能够提供活性氮原子的介质中加热至临界点以下保温	使工件在变形较小的条件下具有高耐磨性、抗咬合性及耐蚀性	
	氮碳共渗	在能够提供活性氮碳原子的介质中加热并保温, 加热温度比渗氮稍高	使工件在变形较小的条件下具有高耐磨性、抗咬合性及耐蚀性	
	渗硫	在能提供活性硫原子的介质中加热保温	使工件耐磨和抗咬合	
	渗锌	在能提供活性锌原子的介质中加热保温	提高钢的抗大气腐蚀性能	
处理	多元共渗	多元共渗	同时渗入多种元素	提高工件表面耐磨、耐蚀或抗热等性能
	离子化学热处理	离子化学热处理	在介质电离的条件下利用辉光放电加热工件并使渗入元素在电场作用下渗入工件	与一般化学热处理相同
	其他	电解化学热处理 真空渗碳 流态床化学热处理	在电解条件下于盐浴中渗碳、渗硼、渗硫或在电解催渗条件下渗氮 在真空炉中渗碳 在流态床中渗碳或碳氮共渗	与一般方法相同 与一般渗碳相同 与一般方法相同

钢和铸铁是机器制造业用量最多的金属材料, 钢铁的热处理工艺门类也最为繁多。为了满足设计上的某种技术要求, 常有多种工艺可供选择。选择热处理工艺的基本依据是零件或工具的工作条件 and 生产批量。为了保证产品经久耐用, 热处理工艺的选定必须与材料选择相结合。选择工艺的基本原则是工艺过程稳定可靠, 劳动条件较好, 设备投资及生产成本较低, 能耗较低, 环境无污染或污染轻微。

热处理通常要将工件加热到较高温度, 当炉内介质为空气或氧化性燃烧气体时, 钢的表层会发生氧化和脱碳, 非铁金属也难免发生氧化和某些合金元素的贫化。向炉中通入可控气氛或使用真空炉加热可以使这个问题得到解决。对于渗碳等化学热处理, 使用可控气氛作为活性介质并利用微机进行气氛控制, 可提高渗层质量并使生产稳定。热处理工件在高温下长时间保温和淬火时由高温迅速冷却, 会使工件变形甚至开裂。这个问题极为令人关注。选用

热处理变形较小的工艺,合理制定工艺规范,采用适宜的淬火介质,使用适当的工夹具,采用压床淬火,可使这种问题一定程度地得到解决。加热温度过高,会使金属晶粒过分粗大,晶界结合力减弱或局部熔化,发生过热过烧,加热温度过低则又不能达到预期的技术要求。使用可靠的测温仪表、定期进行校验、采用微机控制,是避免出现这类问题的必要措施。

必须对热处理质量与零件或制品的质量加以区别。材料选用不当、工艺路线错误、冷热加工工艺不良以及冶炼过程中的失误使工件几何尺寸、外观发生问题或材料中存在某些疵病,都会影响产品质量。结构设计不合理也会给热处理造成困难,间接影响产品质量。

为了提高热处理质量,必须使用良好的热处理设备和合格的辅助材料,严格进行质量检验,同时还必须不断提高热处理生产水平和技术水平。为了实现这一要求,应该对工艺水平、热处理设备、辅助材料和管理水平认真进行考核。各项考核的内容见表1-1-2至表1-1-5。

表1-1-2 热处理工艺考核内容

项 目	考 核 内 容
产品质量	1) 力学性能 2) 组织缺陷 3) 表面质量(色泽、脱碳层粗糙度等) 4) 精度 5) 使用寿命
工艺的合理性	1) 生产效率 2) 生产成本 3) 工艺的稳定性及可靠性 4) 能耗 5) 劳动条件 6) 环境污染

表1-1-3 热处理设备考核内容

项 目	考 核 内 容
加热设备	1) 制造水平:炉温均匀性、运行可靠性、使用安全性、维修方便性、结构合理性、能耗 2) 使用水平:选用是否合理、是否定期维修、能否按规定操作
炉控水平	1) 炉控仪表(温度、气氛、压力、流量)的完整性及可靠性 2) 自动化及微机应用情况 3) 校验维修制度
试验及测试设备	1) 金相检验、力学性能检验、仪表校验、分析仪器等是否齐备 2) 精度及耐用性 3) 使用维修水平
辅助设备	1) 起重运输,工夹具、矫直、清洗、清理、冷却系统是否完善 2) 使用和维修是否恰当

表1-1-4 热处理辅助材料考核内容

材料名称	考 核 内 容	材料名称	考 核 内 容
制备可控气氛的原料	来源的稳定性及可靠性,运输是否方便、保管的安全性	化学热处理渗剂	稳定可靠性、对工艺周期的影响、污染程度、安全性
盐浴炉用盐及校正剂	纯净程度、废渣处理的简易性	清洗剂	效率及安全性
防护涂料及防渗剂	使用是否方便可靠	防锈剂	可靠性
淬火冷却介质	冷却能力、安全性、稳定性、调节与控制制度	耐热合金	可靠性、耐用性、成本
		电热材料	耐用性、成本
		隔热材料	导热性、热容量、耐用性

表1-1-5 热处理管理水平考核内容

项 目	考 核 内 容
工艺管理	1) 工艺设定(工艺类型、设备、装炉方法、加热、冷却及后处理方式等)是否合理 2) 工序及规程(工序、加热温度、保温时间、介质、装炉量、出炉操作、冷却方法)是否正确 3) 后处理(清洗、喷丸、矫直、防锈)是否严格认真
工件材料管理	1) 入厂检验(牌号、成分、淬透性、力学性能、金相组织、形状及尺寸、外观)是否严格认真 2) 仓库管理是否井然有序 3) 预处理是否正确 4) 前加工是否正确



(续)

项 目	考 核 内 容
人员管理	1) 人员素质, 经验、积极性、知识、技能 2) 教育及培训
设备管理	1) 加热设备: 加热区温度均匀性, 升降温速度、炉气的稳定性, 运输设备及工夹具的适用性 2) 冷却设备: 冷却能力的测定、冷却速度及流动方式, 搅拌方法, 浸入时间, 冷却介质稳定性 3) 检测设备: 检测制度及仪表完好程度
辅助材料管理	选用、保管、检验及使用情况
质量管理	是否根据标准全面认真地进行检验

随着科学技术的发展, 原有热处理工艺不断优化和完善, 新工艺层出不穷, 无公害与节能热处理技术不断开发应用, 设备也在不断更新。表 1-1-6 列出了热处理工艺改进与优化的几个方面。

表 1-1-6 热处理工艺改进与优化

目 的	主 要 措 施
防氧化、防脱碳	1) 可控气氛热处理 2) 真空热处理 3) 流态床加热热处理 4) 包装热处理
减少淬火变形与开裂	1) 合理选材 2) 使用新淬火介质 3) 低温加热 4) 改进淬火方法 5) 用表面淬火代替整体淬火
提高产品使用性能	1) 形变热处理 2) 气相沉积 3) 磁场热处理 4) 开发化学热处理新技术及采用多元共渗 5) 采用强化新工艺 6) 推广微机控制技术
强化工艺过程	1) 快速加热 2) 使用新渗剂 3) 使用催渗剂 4) 提高化学热处理温度及采用循环化学热处理 5) 采用离子轰击化学热处理