

热处理实用技术丛书

# 不锈钢及其 热处理

**BUXIUGANGJIQIRECHULI**

张文华 主编



辽宁科学技术出版社

热处理实用技术丛书

# 不锈钢及其热处理

张文华 主编

辽宁科学技术出版社

沈阳

## 图书在版编目 (CIP) 数据

不锈钢及其热处理/张文华主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010. 2

(热处理实用技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5381 - 5676 - 8

I. 不… II. 张… III. 不锈钢—热处理 IV. TG162

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 235123 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 25 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: 13.25

字 数: 350 万字

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2010 年 2 月第 1 版

印刷时间: 2010 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: 李淑敏

---

书 号: ISBN 978 - 7 - 5381 - 5676 - 8

定 价: 28.00 元

编辑部电话: 024 - 23284372

邮购热线: 024 - 23284502

本书网址: [www.lnkj.cn/uri.sh/5676](http://www.lnkj.cn/uri.sh/5676)

## 《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的较多。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	卯石刚
	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 战洪仁
《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

随着我国科学技术的进步和国民经济建设的飞跃发展，在国防、石油、化工、发电、海洋开发、原子能等领域中，不锈钢得到了越来越广泛的应用，对不锈钢的力学、耐腐蚀等各项性能提出了更高的要求。由于我国冶金技术的进步，为我们提供了种类更多、规格更全、质量更优的各类不锈钢。而伴随着对国外技术的引进，超出我国标准的许多新钢号也不断出现。

尽管冶金行业可以为我们提供优质不锈钢，但是，还必须通过正确的热处理手段才能更好地发挥不锈钢的功能。可以说，热处理生产是提高不锈钢质量和使用可靠性的重要保证。

本书以提高不锈钢热处理质量、更好地发挥不锈钢功能为目的，从不锈钢热处理的基本理论入手，结合热处理生产的实践经验，向读者介绍了各类不锈钢的特点、热处理原理、热处理工艺及热处理生产过程中可能出现的缺陷和预防措施，有选择地介绍了典型不锈钢零部件的热处理。

书中还介绍了不锈钢热处理质量效果，如力学性能、耐腐蚀性能的检测、试验方法和相关标准。

本书附录介绍了国内外不锈钢牌号对照及与不锈钢热处理相关的资料、数据等。在编写过程中，借鉴和引用了国内外同行的文献资料和试验结果。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评、指正。

作 者

# 目 录

## 前 言

第一章 概论	1
第一节 不锈钢的基本知识	1
一、不锈钢的定义及界定范围	1
二、不锈钢的开发与发展	1
三、不锈钢的耐腐蚀机制	2
四、不锈钢的分类及特点	3
五、化学成分与不锈钢相组成的关系——Schaeffler 图的应用	6
六、不锈钢钢号的表示方法 (GB、JIS、ГОСТ、AISI、 UNS、ACI、SS、ISO、DIN、BS、BS-EN、NF、 NF-EN、KU)	8
第二节 不锈钢中的合金元素及其作用	23
一、铬	23
二、镍	25
三、碳	26
四、钼	27
五、铜	28
六、钛和铌	29
七、氮	29
八、锰	30
九、硅	30
十、铝	30



十一、硫和硒 .....	31
十二、钨 .....	31
十三、其他元素 .....	31
<b>第二章 铁素体不锈钢及其热处理 .....</b>	<b>33</b>
<b>第一节 铁素体不锈钢常见类型及特点 .....</b>	<b>33</b>
一、铁素体不锈钢常见类型 .....	33
二、铁素体不锈钢的特点及应用 .....	34
<b>第二节 铁素体不锈钢的热处理 .....</b>	<b>35</b>
一、铁素体不锈钢热处理的作用和目的 .....	35
二、铁素体不锈钢热处理工艺 .....	39
三、铁素体不锈钢热处理可能产生的缺陷和预防措施 .....	43
<b>第三章 奥氏体不锈钢及其热处理 .....</b>	<b>45</b>
<b>第一节 奥氏体不锈钢主要特点 .....</b>	<b>45</b>
一、奥氏体不锈钢的成分特点 .....	45
二、奥氏体不锈钢力学性能特点 .....	58
三、奥氏体不锈钢耐腐蚀特点 .....	63
<b>第二节 奥氏体不锈钢热处理的理论基础 .....</b>	<b>65</b>
一、奥氏体不锈钢中合金碳化物的析出与溶解 .....	65
二、奥氏体不锈钢中的 $\sigma$ 相 .....	67
三、奥氏体不锈钢中的 $\delta$ 铁素体 .....	70
四、充分发挥奥氏体不锈钢中稳定化元素的作用 .....	73
五、奥氏体不锈钢制件的应力及危害 .....	74
<b>第三节 奥氏体不锈钢的热处理工艺 .....</b>	<b>74</b>
一、固溶化处理 .....	75
二、稳定化退火 .....	77
三、消除应力处理 .....	79
四、敏化处理 .....	82
五、奥氏体不锈钢的冷加工强化及去应力处理 .....	83
<b>第四节 奥氏体不锈钢热处理应注意的问题 .....</b>	<b>89</b>
一、奥氏体不锈钢固溶化处理加热温度的合理选择 .....	89

二、稳定化处理对固溶状态性能的影响 .....	91
三、稳定化处理加热温度不宜过高 .....	92
四、奥氏体不锈钢不宜多次进行固溶化处理 .....	92
五、奥氏体不锈钢的污染及其预防 .....	92
<b>第四章 马氏体不锈钢及其热处理 .....</b>	<b>95</b>
<b>第一节 马氏体不锈钢常见类型及特点 .....</b>	<b>95</b>
一、Cr13 型马氏体不锈钢 .....	95
二、1Cr17Ni2 马氏体不锈钢 .....	101
三、高碳高铬马氏体不锈钢 .....	102
<b>第二节 马氏体不锈钢热处理的理论基础 .....</b>	<b>107</b>
一、马氏体不锈钢加热时的转变特点 .....	107
二、马氏体不锈钢冷却时的转变特点 .....	112
三、马氏体不锈钢淬火后回火时的组织转变及特点 .....	119
<b>第三节 马氏体不锈钢的热处理工艺 .....</b>	<b>128</b>
一、1Cr13、2Cr13、3Cr13 钢的热处理 .....	128
二、4Cr13、9Cr18、9Cr18Mo 钢的热处理 .....	145
三、ZG1Cr13Ni 钢的热处理 .....	151
四、0Cr13Ni4Mo (ZG0Cr13Ni4MoRE) 0Cr13Ni6Mo (ZG0Cr13Ni6MoRE) 类马氏体不锈钢的热处理 .....	157
五、1Cr17Ni2 马氏体不锈钢的热处理 .....	162
<b>第五章 沉淀硬化不锈钢及其热处理 .....</b>	<b>169</b>
<b>第一节 沉淀硬化不锈钢的分类和特点 .....</b>	<b>169</b>
一、马氏体型沉淀硬化不锈钢 .....	170
二、半奥氏体型沉淀硬化不锈钢 .....	170
三、奥氏体型沉淀硬化不锈钢 .....	171
四、奥氏体 - 铁素体型沉淀硬化不锈钢 .....	171
<b>第二节 沉淀硬化不锈钢热处理的理论基础 .....</b>	<b>171</b>
一、固溶处理 .....	172
二、调整处理 .....	173
三、冷变形处理 .....	174

四、冷处理	176
五、时效处理	176
六、均匀化处理	177
七、焊后热处理	178
<b>第三节 沉淀硬化不锈钢的热处理工艺</b>	179
一、马氏体沉淀硬化不锈钢的热处理	179
二、半奥氏体沉淀硬化不锈钢的热处理	185
三、奥氏体沉淀硬化不锈钢的热处理	189
四、奥氏体-铁素体沉淀硬化不锈钢的热处理	190
<b>第六章 双相不锈钢及其热处理</b>	192
<b>第一节 双相不锈钢的特点及分类</b>	192
一、双相不锈钢的基本特点	192
二、双相不锈钢的分类	201
<b>第二节 双相不锈钢热处理的基本理论</b>	204
一、加热温度与两相比例的关系	204
二、加热温度对两相中合金成分的影响	205
三、加热和冷却对双相不锈钢中析出相的影响	206
<b>第三节 双相不锈钢的热处理工艺</b>	211
一、低合金双相不锈钢的固溶处理	212
二、中合金双相不锈钢的固溶处理	212
三、高合金双相不锈钢的固溶处理	214
四、超级双相不锈钢的固溶处理	216
五、双相不锈钢消除应力处理	218
<b>第七章 不锈钢的其他热处理方法</b>	219
<b>第一节 不锈钢的渗氮</b>	219
一、渗氮及渗氮层组织	219
二、渗氮方法	221
三、不锈钢渗氮的预先处理	230
四、不锈钢渗氮的特点	232
五、不锈钢渗氮的生产操作	233

第二节 不锈钢的氮碳共渗、硫氮碳共渗及 QPQ 处理	238
一、不锈钢的氮碳共渗	238
二、不锈钢氮碳共渗的生产操作	245
三、不锈钢的液体硫氮碳共渗	252
四、不锈钢的 QPQ 处理	254
第三节 不锈钢感应加热表面淬火	256
一、感应加热原理	256
二、钢在感应加热时的组织转变特点	257
三、马氏体不锈钢的高频感应加热工艺要点	259
四、马氏体不锈钢高频感应淬火常见缺陷及预防措施	261
五、高频感应加热淬火操作	263
第四节 不锈钢的复合处理	268
一、渗氮 + 整体淬火	268
二、渗氮 + 高频感应加热表面淬火	270
三、渗氮 + 低温渗硫	270
四、高频表面淬火 + 低温渗硫	270
第五节 不锈钢真空热处理和保护气氛热处理	271
一、炉气对工件表面的影响	271
二、不锈钢的真空热处理	273
三、不锈钢保护气氛热处理	276
第六节 不锈钢的酸洗和钝化	277
一、不锈钢的酸洗	277
二、不锈钢的钝化	281
第八章 不锈钢典型零件热处理	285
一、轴套热处理	285
二、平衡套热处理	289
三、活塞杆热处理	294
四、轴热处理	299
五、轮的热处理 (一)	303
六、轮的热处理 (二)	306

七、轴承零件(套圈)热处理	308
八、弹簧热处理	311
九、壳体的热处理	315
<b>第九章 不锈钢常见性能试验</b>	<b>318</b>
<b>第一节 力学性能试验</b>	<b>318</b>
一、硬度试验	318
二、室温拉伸试验	333
三、冲击试验	339
<b>第二节 腐蚀及腐蚀试验</b>	<b>343</b>
一、全面腐蚀	342
二、晶间腐蚀	344
三、点腐蚀	347
四、缝隙腐蚀	349
五、应力腐蚀开裂	350
六、磨耗腐蚀	351
七、空泡腐蚀	352
附表一 新旧不锈钢钢号对照表	353
附表二 常见不锈钢钢号对照表	363
附表三 肖氏硬度与洛氏硬度换算表	369
附表四 里氏硬度换算表	370
附表五 钢铁硬度及强度换算表(一)	375
附表六 钢铁硬度及强度换算表(二)	386
附表七 力学性能新旧名称对照表	394
附表八 不锈钢常用腐蚀试剂	395
附表九 常用不锈钢材料物理化学性质	401
附表十 温度换算(摄氏 $\leftrightarrow$ 华氏)	404
附表十一 希腊字母表	409
<b>参考文献</b>	<b>410</b>

## 第一节 不锈钢的基本知识

### 一、不锈钢的定义及界定范围

根据我国钢的分类标准，钢的定义为：“以铁（Fe）为主要元素，含碳（C）量一般在2%以下，并含有其他元素的材料”。按该标准，对钢以主要性能及使用特性分类，将不锈钢、耐蚀钢、抗氧化钢和耐热钢归属为一类，统称“不锈、耐蚀和耐热钢”，但是，严格来说，它们是有区别的。不锈钢应指在空气中或接近中性的介质中不产生锈蚀的钢；耐蚀钢应指在一些含有化学腐蚀介质，如酸、碱、盐及其溶液、海水和一些腐蚀性气体中能够不产生或少产生腐蚀的钢；耐热钢应指在较高温度环境中能够抗氧化、抗蠕变的钢。当然，一般的耐蚀钢和耐热钢都具有不锈的特性。习惯上，又常把不锈钢和耐蚀钢简称为不锈钢。

在本书中，为便于说明问题和考虑习惯，将不锈钢界定为：含适当的碳，含铬（Cr）12%以上，或还含有其他合金元素、能在含有腐蚀介质的液体或气体中具有抵抗腐蚀能力的铁基合金。

### 二、不锈钢的开发与发展

现在，不锈钢作为重要材料被人们重视，但是，至今不锈钢才有不足百年的历史。较早的是英国 Brearley 于 1931 年的报道，

含碳量为 0.4% 的钢当含 9% ~ 16% 的铬时，具有良好的抗腐蚀性能。这可能就是最早的不锈钢。相继，德国 Strauss 和 Maurer 等人通过研究指出：含足够量铬和镍（Ni）的钢有抗氧化和耐酸的作用。1917—1918 年，法国根据 Chevenard 的研究成果，生产了含铬 10% ~ 15%，含镍 20% ~ 40% 的专用钢。在此期间，美国也对含铬钢的耐腐蚀性进行了研究并推广使用含铬不锈钢。这些都是我们目前所熟知的铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和奥氏体不锈钢的前期成就。

在不锈钢的使用中，人们逐渐感觉到了不足。奥氏体不锈钢耐腐蚀性好，但强度较低，不能通过热处理调整强度，所以，不适合有较高强度要求的零件的使用。而马氏体不锈钢虽可通过热处理方法调整性能，保证具有较高的机械强度，但其耐腐蚀性稍差，因而在应用上受到限制。因此，逐渐开发了既具有较好耐腐蚀性，又可通过热处理方法调整机械性能的沉淀硬化不锈钢。

随着不锈钢应用范围的扩大，以及在某些介质中的构件由于不均匀的局部腐蚀而发生应力腐蚀破裂事故的增多，引起了科学家的注意，并研制开发了新型不锈钢钢种，即具有铁素体和奥氏体两种相组成的双相不锈钢。

经过近百年的发展，已使不锈钢具有铁素体系、马氏体系、奥氏体系、沉淀硬化系和铁素体 - 奥氏体系（双相不锈钢系）等五大系列、众多品种的钢铁材料，并在钢铁世界里占有重要的地位。

### 三、不锈钢的耐腐蚀机制

不锈钢的不锈性和耐腐蚀性是指其对遭受周围环境腐蚀的抵抗能力，或者说其对腐蚀产生的迟钝程度，简称钝化。关于不锈钢钝化现象的解释有很多理论，比如，从化学理论解释，认为不锈钢所以耐腐蚀，是因为其在与介质作用时，表面会有一层以  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  为主的薄膜，即钝化膜，这层膜的特点是很薄，在铬含量

大于 10.5% 的条件下, 一般只有几微米; 这个膜的比重大于金属基体比重, 说明膜很致密, 因此, 这层膜很难被腐蚀介质击穿, 从而有效地保护金属基体不被腐蚀。再比如电子理论说, 认为金属的钝性状态与未填满的电子层有关, 在铁铬合金的不锈钢中, 由于铬力求吸收电子, 使铁 (Fe) 原子失去电子而被钝化了。还有的学者认为, 当铁铬合金固溶体中的含铬量达到 1/8 (即 12.5%) 时, 其电极电位可由  $-0.56\text{V}$  跃增至  $+0.2\text{V}$ , 这个电极电位的提高, 使金属在电解液中更稳定了, 即不易被腐蚀了。

上述理论都是以铬的作用为依托的。实际上, 由于材料所处环境的多样性、复杂性, 在某些条件下还需添加其他合金元素, 以提高和巩固材料的耐腐蚀性, 如加入钼 (Mo) 元素, 会使腐蚀产物  $\text{MoO}_4^{2-}$  靠近基体而促进基体钝化; 加入铜 (Cu) 元素, 使不锈钢表面钝化膜中含有  $\text{CuO}$ , 其与腐蚀介质不发生作用, 从而提高材料的耐腐蚀性; 加入氮 (N) 元素, 会因钝化膜中富集  $\text{Cr}_2\text{N}$ , 使钝化膜中的铬浓度提高, 而提高材料的耐腐蚀性。

需要指出的是, 不锈钢的耐腐蚀性是有条件的。介质种类、浓度、温度、压力、流速等各方面因素的差异对不锈钢产生的腐蚀效果是不同的, 所以, 不锈钢的不锈是相对的, 不是绝对的、万能的。这一点务必引起我们的注意。

#### 四、不锈钢的分类及特点

不锈钢有许多分类方法, 如按化学成分分类, 按功能特点分类, 按金相组织和热处理特征分类等。从热处理生产工艺考虑, 按金相组织和热处理特征分类更具有实际意义。这也是常见的分类方法。在我国的相关标准中, 如 GB 1220 《不锈钢棒》、GB 2100 《不锈钢耐酸钢技术条件》, 均是按这种方法分类的。其中, 沉淀硬化不锈钢的分类还考虑了热处理特征。所谓按金相组织分类, 就是指把钢加热到某一高温温度后快速冷却到室温所能



获得的金相组织种类。

不锈钢按金相组织和热处理特征分类，基本上可分为铁素体型、马氏体型、奥氏体型、沉淀硬化型、铁素体 - 奥氏体型（即本书中的双相不锈钢）等五种类型。这里需要说明的是：有些不锈钢，如 1Cr13，加热快冷后的金相组织是在马氏体基体上含有少量铁素体；9Cr18 加热并快冷后，金相组织是在马氏体基体上含有少量碳化物；0Cr13Ni4Mo 加热快冷后，金相组织是在马氏体基体上含有少量奥氏体；ZG1Cr18Ni9 加热快冷后的金相组织是在奥氏体基体上含有少量铁素体等，本书对它们都是以所获得的基体组织为准分别归属马氏体型或奥氏体型不锈钢，而在双相不锈钢范围之内，本书中的双相不锈钢特指高温加热后快速冷却到室温，同时获得铁素体和奥氏体两相组织的不锈钢，且其中一相含量不低于 25%。

这五类不锈钢在成分，金相组织，耐腐蚀性，可达到的力学性能及热处理方式等方面各有不同。

### 1. 铁素体不锈钢

铁素体不锈钢中的主要合金元素是铬，当钢中含有大于 12% 的铬，再含有其他稳定铁素体的元素时，则钢中的组织结构基本上是铁素体，在室温下的组织也是铁素体。

铁素体不锈钢的组织决定了其具有不太高的强度，而且不能通过热处理方法强化，该钢种有一定的塑性，但脆性较大。

铁素体不锈钢对硝酸等氧化性介质有良好的耐腐蚀性。且随着铬含量的增加，其抗氧化性介质腐蚀的能力也增加。在还原性介质中的耐腐蚀性较差。在含氯化物介质中有良好的抗应力腐蚀开裂能力。

### 2. 马氏体不锈钢

马氏体不锈钢主要含 12% ~ 18% 的铬元素，并依据使用条件要求调整其含碳量，一般在 0.1% ~ 0.4%，对于做工具使用时，含碳量可达 0.8% ~ 1.0%。有的还根据需要加入一定量的