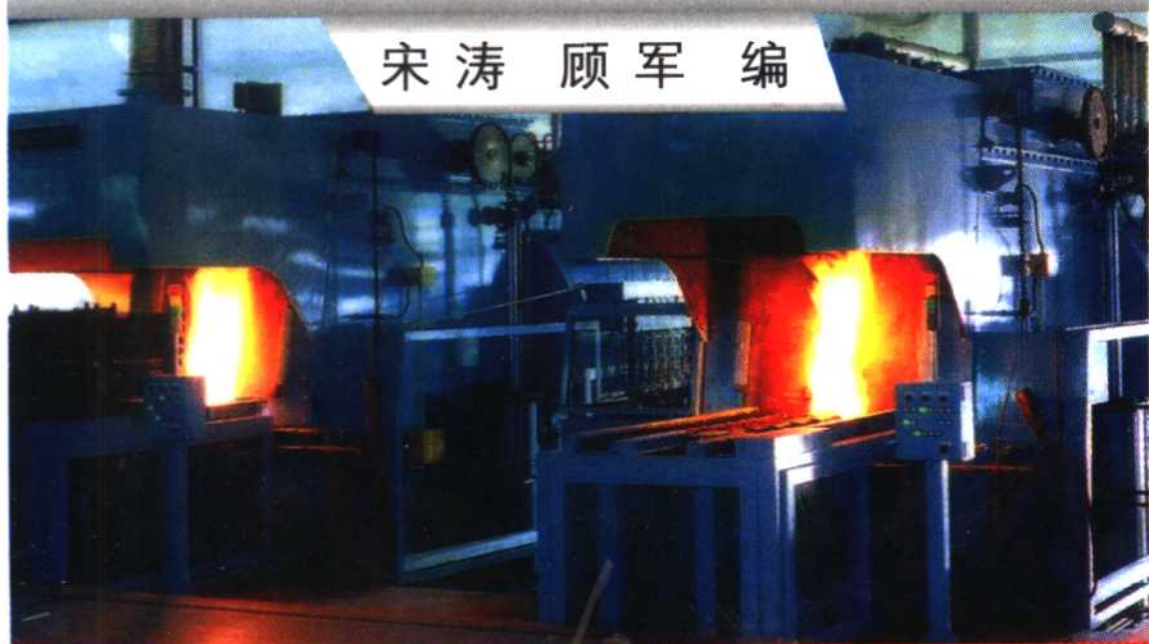


# 热处理工

# 工作手册

宋涛 顾军 编



化学工业出版社



# 热处理工 工作手册

宋涛 顾军 编



化学工业出版社  
· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

热处理工工作手册/宋涛, 顾军编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-122-00050-7

I. 热… II. ①宋…②顾… III. 热处理-技术手册  
IV. TG156-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 031162 号

---

责任编辑: 周国庆 周 红      文字编辑: 闫 敏  
责任校对: 王素芹              装帧设计: 于 兵

---

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司  
装 订: 三河市万龙印装有限公司  
850mm×1168mm 1/64 印张 17 1/4 字数 736 千字  
2007 年 9 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

# 内容提要

本手册共分7章，包括热处理基本规定、热处理工艺材料、热处理设备、钢的热处理工艺、铸铁及有色金属热处理、典型零件的热处理、热处理质量控制和检验等内容。

本手册突出热处理操作技能，收录热处理工作中最常用的实用数据及资料，适合于热处理工作中查阅，可供热处理技术工人、相关技术人员和管理人员等使用。

# 前 言

近几年，国内对机械加工高技能人才的培养非常重视。为了提高广大热处理技术工人的专业技能，满足他们在实际工作中经常查阅和使用技术资料的需要，受化学工业出版社的委托，我们编写了《热处理工工作手册》。

该手册收录了热处理生产实践中最常用的热处理数据和资料、操作技能、热处理最新标准，包括热处理基本规定、热处理工艺材料、热处理设备、热处理工艺、典型零件的热处理及热处理质量控制和检验等内容，便于查阅。希望该手册的出版将对热处理行业的技术进步和人才培养起到一定的推动作用。

《热处理工工作手册》具有内容丰富、实用性强、查阅方便等特点，以从事热处理工作的技术工人为主要读者对象，也可供从事热处理工作的工程技术人员、质量检验人员和管理人员参考。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者  
2007 年 6 月

# 目 录

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 基本规定</b>                      | 1  |
| 1.1 金属热处理术语基本规定                        | 1  |
| 1.1.1 金属热处理工艺术语 (依据 GB/T 7232—1999)    | 1  |
| 1.1.2 热处理工艺材料术语 (依据 GB/T 8121—2002)    | 30 |
| 1.2 金属热处理生产过程安全卫生要求 (依据 GB 15735—2004) | 38 |
| 1.2.1 热处理生产的危险因素和有害因素                  | 38 |
| 1.2.2 热处理厂房和作业环境                       | 42 |
| 1.2.3 生产物料和剩余物料                        | 42 |
| 1.2.4 生产装置                             | 43 |
| 1.2.5 热处理工艺作业                          | 43 |
| <b>第 2 章 热处理工艺材料</b>                   | 47 |
| 2.1 淬火介质                               | 52 |
| 2.1.1 水及水溶液淬火介质                        | 53 |
| 2.1.2 淬火油                              | 65 |
| 2.1.3 盐浴和碱浴冷却介质                        | 78 |
| 2.2 热处理盐浴用盐                            | 82 |
| 2.2.1 基盐                               | 82 |
| 2.2.2 盐浴校正剂                            | 86 |
| 2.3 化学热处理渗剂                            | 90 |
| 2.3.1 渗碳剂                              | 90 |
| 2.3.2 渗氮剂                              | 97 |

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
| 2.3.3  | 碳氮共渗剂 .....     | 99  |
| 2.3.4  | 氮碳共渗剂 .....     | 103 |
| 2.3.5  | 渗硫剂 .....       | 103 |
| 2.3.6  | 硫氮碳共渗剂 .....    | 103 |
| 2.3.7  | 渗硼剂 .....       | 106 |
| 2.3.8  | 渗铝剂 .....       | 107 |
| 2.3.9  | 渗铬剂 .....       | 110 |
| 2.3.10 | 渗锌剂 .....       | 110 |
| 2.3.11 | 渗硅剂 .....       | 113 |
| 2.3.12 | 渗钒剂 .....       | 113 |
| 2.3.13 | 渗钛剂 .....       | 113 |
| 2.3.14 | 多元共渗剂 .....     | 115 |
| 2.4    | 热处理涂料 .....     | 115 |
| 2.4.1  | 热处理保护涂料 .....   | 115 |
| 2.4.2  | 化学热处理防渗涂料 ..... | 119 |
| 2.5    | 热处理原料气体 .....   | 119 |
| 2.5.1  | 氢气 .....        | 119 |
| 2.5.2  | 氮气 .....        | 119 |
| 2.5.3  | 氨气(液氨) .....    | 120 |
| 2.5.4  | 丙烷 .....        | 120 |

### 第3章 热处理设备 .....

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 3.1   | 热处理设备概况 .....      | 121 |
| 3.1.1 | 热处理设备的分类 .....     | 121 |
| 3.1.2 | 热处理炉的分类及性能特点 ..... | 122 |
| 3.1.3 | 热处理加热装置的分类 .....   | 123 |
| 3.2   | 电阻炉 .....          | 131 |
| 3.2.1 | 箱式电阻炉 .....        | 131 |
| 3.2.2 | 台车式电阻炉 .....       | 131 |
| 3.2.3 | 井式电阻炉 .....        | 131 |

|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 3.2.4  | 密封式箱式电阻炉 .....     | 136 |
| 3.2.5  | 输送式电阻炉 .....       | 136 |
| 3.2.6  | 电磁振底炉 .....        | 136 |
| 3.2.7  | 滚筒式电阻炉 .....       | 136 |
| 3.2.8  | 转底式电阻炉 .....       | 136 |
| 3.2.9  | 罩式电阻炉 .....        | 136 |
| 3.2.10 | 推送式电阻炉 .....       | 136 |
| 3.2.11 | 转筒式电阻炉 .....       | 136 |
| 3.2.12 | 辊底式电阻炉 .....       | 140 |
| 3.3    | 燃料炉 .....          | 140 |
| 3.3.1  | 燃料炉的分类 .....       | 140 |
| 3.3.2  | 燃料炉的技术规格 .....     | 141 |
| 3.4    | 热处理浴炉 .....        | 153 |
| 3.4.1  | 电阻加热浴炉 .....       | 153 |
| 3.4.2  | 燃料加热浴炉 .....       | 155 |
| 3.4.3  | 电极盐浴炉 .....        | 155 |
| 3.5    | 流态床炉 .....         | 159 |
| 3.5.1  | 气体燃料流态床炉 .....     | 159 |
| 3.5.2  | 内热式电加热流态床炉 .....   | 159 |
| 3.6    | 真空与等离子热处理炉实例 ..... | 164 |
| 3.6.1  | 气冷真空炉 .....        | 164 |
| 3.6.2  | 油淬真空炉 .....        | 164 |
| 3.6.3  | 水淬真空炉 .....        | 167 |
| 3.6.4  | 多用途真空炉 .....       | 167 |
| 3.6.5  | 真空回火炉 .....        | 173 |
| 3.6.6  | 真空渗碳炉 .....        | 173 |
| 3.6.7  | 真空烧结炉 .....        | 173 |
| 3.6.8  | LD 系列离子渗氮炉 .....   | 176 |
| 3.6.9  | 卧式离子渗氮炉 .....      | 176 |



|        |                   |     |
|--------|-------------------|-----|
| 3.6.10 | 真空离子渗碳炉 .....     | 176 |
| 3.6.11 | 连续式真空离子热处理炉 ..... | 176 |
| 3.6.12 | 双层辉光离子渗金属炉 .....  | 176 |
| 3.7    | 表面加热装置 .....      | 180 |
| 3.7.1  | 电子管变频装置 .....     | 180 |
| 3.7.2  | 机式变频装置 .....      | 180 |
| 3.7.3  | 半导体变频装置 .....     | 180 |
| 3.7.4  | 工频感应加热装置 .....    | 180 |
| 3.7.5  | 火焰淬火加热装置 .....    | 189 |

## 第4章 钢的热处理工艺 .....

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 4.1   | 整体热处理工艺 .....    | 191 |
| 4.1.1 | 钢的正火和退火工艺 .....  | 191 |
| 4.1.2 | 淬火与回火 .....      | 211 |
| 4.2   | 钢的表面热处理工艺 .....  | 236 |
| 4.2.1 | 火焰表面淬火工艺 .....   | 236 |
| 4.2.2 | 感应加热表面淬火工艺 ..... | 243 |
| 4.2.3 | 激光表面热处理 .....    | 264 |
| 4.3   | 化学热处理工艺 .....    | 272 |
| 4.3.1 | 渗碳工艺 .....       | 272 |
| 4.3.2 | 碳氮共渗工艺 .....     | 287 |
| 4.3.3 | 气体渗氮工艺 .....     | 294 |
| 4.3.4 | 离子渗氮 .....       | 309 |
| 4.3.5 | 氮碳共渗热处理 .....    | 319 |
| 4.3.6 | 渗硼 .....         | 324 |

## 第5章 铸铁及有色金属热处理 .....

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 5.1   | 铸铁热处理 .....   | 330 |
| 5.1.1 | 灰铸铁热处理 .....  | 330 |
| 5.1.2 | 可锻铸铁热处理 ..... | 337 |
| 5.1.3 | 球墨铸铁热处理 ..... | 343 |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 5.2        | 有色金属热处理 .....            | 352        |
| 5.2.1      | 铜及铜合金热处理 .....           | 352        |
| 5.2.2      | 铝及铝合金热处理 .....           | 382        |
| <b>第6章</b> | <b>典型零件的热处理 .....</b>    | <b>431</b> |
| 6.1        | 齿轮热处理 .....              | 431        |
| 6.1.1      | 齿轮材料 .....               | 431        |
| 6.1.2      | 齿轮的热处理工艺 .....           | 452        |
| 6.2        | 滚动轴承零件的热处理 .....         | 509        |
| 6.2.1      | 一般用途滚动轴承零件的热处理 .....     | 509        |
| 6.2.2      | 特大、特小、特轻、精密轴承零件热处理 ..... | 559        |
| 6.2.3      | 特殊用途轴承零件热处理 .....        | 563        |
| 6.3        | 弹簧的热处理 .....             | 592        |
| 6.3.1      | 通用弹簧钢材及热处理 .....         | 592        |
| 6.3.2      | 特殊用途的弹簧钢、合金弹簧钢的热处理 ..... | 594        |
| 6.3.3      | 弹簧的最终热处理 .....           | 604        |
| 6.3.4      | 弹簧的特殊热处理 .....           | 619        |
| 6.4        | 工具的热处理 .....             | 625        |
| 6.4.1      | 工具用钢 .....               | 625        |
| 6.4.2      | 工具钢的热处理 .....            | 627        |
| 6.5        | 模具的热处理 .....             | 643        |
| 6.5.1      | 模具用钢 .....               | 643        |
| 6.5.2      | 冷作模具的热处理 .....           | 646        |
| 6.5.3      | 热作模具的热处理 .....           | 662        |
| 6.5.4      | 塑料模具的热处理 .....           | 674        |
| 6.5.5      | 提高模具性能和寿命的途径 .....       | 681        |
| 6.5.6      | 模具热处理质量分析 .....          | 699        |
| 6.6        | 量具的热处理 .....             | 705        |
| 6.6.1      | 量具用钢 .....               | 705        |
| 6.6.2      | 量具热处理技术要求 .....          | 708        |

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 6.6.3 | 量具的热处理工艺       | 709 |
| 6.6.4 | 典型量具的热处理       | 713 |
| 6.7   | 紧固件热处理         | 721 |
| 6.7.1 | 通用螺纹紧固件热处理     | 721 |
| 6.7.2 | 专用螺纹紧固件热处理     | 739 |
| 6.7.3 | 垫圈、挡圈、销和铆钉的热处理 | 759 |
| 6.8   | 大型锻铸件的热处理      | 761 |
| 6.8.1 | 锻后热处理          | 761 |
| 6.8.2 | 大型锻件的最终热处理     | 772 |
| 6.8.3 | 大锻件的化学热处理      | 788 |
| 6.8.4 | 热轧辊的热处理        | 801 |
| 6.8.5 | 冷轧辊的热处理        | 804 |
| 6.8.6 | 支承辊的热处理        | 813 |
| 6.8.7 | 大锻件的其他热处理      | 818 |
| 6.8.8 | 大型铸件热处理        | 818 |

## **第7章 热处理质量控制和检验** 826

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 7.1   | 热处理基础条件质量控制           | 826 |
| 7.1.1 | 热处理设备及仪表的技术要求         | 826 |
| 7.1.2 | 热处理工艺材料的技术要求          | 831 |
| 7.1.3 | 热处理人员和作业环境的技术要求       | 834 |
| 7.1.4 | 热处理质量管理 and 质量控制水平的要求 | 834 |
| 7.2   | 热处理前的质量控制             | 834 |
| 7.2.1 | 热处理零件设计质量控制要求         | 834 |
| 7.2.2 | 热处理工艺设计质量的控制          | 858 |
| 7.2.3 | 原材料的质量控制              | 861 |
| 7.2.4 | 热加工质量控制               | 864 |
| 7.2.5 | 机械加工质量控制              | 864 |
| 7.3   | 热处理过程中的质量控制           | 864 |
| 7.3.1 | 待处理工件质量控制             | 864 |

|             |                                   |      |
|-------------|-----------------------------------|------|
| 7.3.2       | 预备热处理质量控制 .....                   | 866  |
| 7.3.3       | 最终热处理质量控制 .....                   | 867  |
| 7.4         | 热处理零件质量检验 .....                   | 891  |
| 7.4.1       | 材料的化学成分检验 .....                   | 891  |
| 7.4.2       | 热处理零件力学性能检验 .....                 | 898  |
| <b>附录</b>   | .....                             | 962  |
| 附录 1        | 优质碳素结构钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 ..... | 962  |
| 附录 2        | 合金结构钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 .....   | 974  |
| 附录 3        | 弹簧钢临界温度、热加工及热处理工艺参数 .....         | 1004 |
| 附录 4        | 滚动轴承钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 .....   | 1010 |
| 附录 5        | 碳素工具钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 .....   | 1022 |
| 附录 6        | 合金工具钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 .....   | 1026 |
| 附录 7        | 高速工具钢临界温度、热加工及热处理工艺<br>参数 .....   | 1041 |
| 附录 8        | 国外有关机构标准代号 .....                  | 1053 |
| 附录 9        | 热处理标准及相关标准目录 .....                | 1055 |
| <b>参考文献</b> | .....                             | 1087 |

# 第1章 基本规定

## 1.1 金属热处理术语基本规定

### 1.1.1 金属热处理工艺术语（依据 GB/T 7232—1999）

#### 1.1.1.1 总类

（1）热处理 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。

（2）整体热处理 对工件整体进行穿透加热的处理。

（3）化学热处理 将工件置于适当的活性介质中加热、保温，使一种或几种元素渗入它的表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理。

（4）化合物层 化学热处理、物理气相沉积和化学气相沉积时在工件表面形成的化合物层。

（5）扩散层 化学热处理时工件化合物层之下的渗层和化学气相沉积时化合物溶解并进行扩散的内层，统称扩散层。

（6）表面热处理 为改变工件表面的组织和性能，仅对其表面进行热处理的工艺。

（7）局部热处理 仅对工件的某一部位或几个部位进行热处理的工艺。

(8) 预备热处理 为调整原始组织, 以保证工件最终热处理或(和)切削加工质量, 预先进行热处理的工艺。

(9) 真空热处理 在低于  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  (通常是  $10^{-1} \sim 10^{-3} \text{ Pa}$ ) 的环境中加热的热处理工艺。

(10) 光亮热处理 工件在热处理过程中基本不氧化, 表面保持光亮的热处理。

(11) 磁场热处理 为改变某些铁磁性材料的磁性能而在磁场中进行的热处理。

(12) 可控气氛热处理 为达到无氧化、无脱碳或按要求增碳的目的, 在成分可控的炉气中进行的热处理。

(13) 保护气氛热处理 在工件表面不氧化的气氛或惰性气体中进行的热处理。

(14) 离子轰击热处理 在低于  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  (通常  $10^{-1} \sim 10^{-3} \text{ Pa}$ ) 的特定气氛中利用工件(阴极)和阳极之间等离子体辉光放电进行的热处理。

(15) 流态床热处理 工件在由气流和悬浮其中的固体粉粒构成的流态层中进行的热处理。

(16) 高能束热处理 利用激光、电子束、等离子弧、感应涡流或火焰等高功率密度能源加热工件的热处理工艺的总称。

(17) 稳定化热处理 为使工件在长期服役的条件下形状和尺寸变化能够保持在规定的范围内的热处理。

(18) 形变热处理 将塑性变形和热处理结合, 以提高工件力学性能的复合工艺。

(19) 复合热处理 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。

(20) 修复热处理 指对长期运行后的热处理件(工件)

在尚未发生不可恢复的损伤之前，通过一定的热处理工艺，使其组织结构得以改善，使用性能或（和）几何尺寸得以恢复，服役寿命得以延长的热处理技术。

(21) 清洁热处理 作为一种可持续发展的生产方式之一的清洁热处理主要包括少、无污染，少、无氧化与节能的热处理技术。它反映了经济效益、社会效益与环境效益的统一。

(22) 热处理工艺周期 通过加热、保温、冷却，完成一种热处理工艺过程的周期。

(23) 加热制度 对一个工艺周期内工件或加热介质在加热阶段温度变化的规定。

(24) 预热 为减少畸变，避免开裂，在工件加热至最终温度前进行的一次或数次阶段性加热保温过程。

(25) 加热速度 在给定温度区间，单位时间内工件或介质温度的平均增值。

(26) 差温加热 有目的地在工件中产生温度梯度的加热。

(27) 纵向移动加热 工件在热源内纵向连续移动或热源沿工件纵向连续移动进行的加热。

(28) 旋转加热 工件在热源内（外）旋转进行的加热。

(29) 保温 工件或加热介质在工艺规定温度下恒温保持一定时间的操作。恒温保持的时间和温度分别称保温时间和保温温度。

(30) 有效厚度 工件各部位壁厚不同时，如按某处壁厚确定加热时间以保证热处理质量，则该处的壁厚称为工件的有效厚度。

(31) 奥氏体化 工件加热至  $A_{c_3}$  或  $A_{c_1}$  以上，以全部或

部分获得奥氏体组织的操作称为奥氏体化。工件进行奥氏体化的保温温度和保温时间分别称为奥氏体化温度和奥氏体化时间。

(32) 可控气氛 成分可按氧化-还原、增碳-脱碳效果控制的炉中气体混合物。其中包括放热式气氛、吸热式气氛、放热-吸热式气氛、有机液体裂解气氛、氨基气氛、氨制备气氛、木炭制备气氛和氢气气氛等。

(33) 吸热式气氛 将气体燃料和空气以一定比例混合，在一定的温度与催化剂作用下通过吸热反应裂解生成的气氛。可燃，易爆，具有还原性。一般用作工件的无脱碳加热介质或渗碳时的载气。

(34) 放热式气氛 将气体燃料和空气以接近完全燃料的比例混合，通过燃烧、冷却、除尘等过程而制备的气氛。根据  $H_2$ 、 $CO$  的含量可分为浓型和淡型两种。浓型可燃，易爆，可作为退火、正火和淬火的无氧化、微脱碳加热保护气氛。淡型不可燃，不易爆，可作为无氧化加热保护气氛和使用吸热式气氛时排除炉中空气的置换气氛。

(35) 放热-吸热式气氛 用吸热式气氛发生器原理制备，吸热式气氛的热源是放热式的燃烧反应。燃烧产物加少量燃料即可进行吸热式反应。这种气氛兼有吸热和放热两种气氛的用途，且制备成本低，具有节能效果。

(36) 滴注式气氛 把含碳有机液体（一般用甲醇）定量滴入加热到一定温度、密封良好的炉内，在炉内裂解形成的气氛。甲醇裂解气可用作渗碳载气，添加乙酸乙酯、丙酮、异丙醇、煤油等可提高碳势，作为渗碳气氛。

(37) 氨基气氛 一般指含氮在 90% 以上的混合气体，精净化放热式气氛、空气液化分馏氮气、用碳分子筛常温



空气分离制氮和薄膜空分制氮的气氛都属此类。当前，后两种气氛使用较多。氮基气氛，即使是高纯氮也含微量氧，直接使用不能使工件获得无氧化加热效果，一般需添加少量甲醇。氮基气氛可用作工件无氧化加热保护气氛，也可用作渗碳载气。

(38) 合成气氛 把纯氮和甲醇裂解气按一定比例混合可视为吸热式气氛作为渗碳载气，此即合成气氛。碳分子筛和薄膜空分制氮法问世后，配制合成气氛被认为是一种便宜和节能的可控气氛制备方法。尤其是在我国，采用合成气氛是解决制备可控气氛气源的一条主要途径。

(39) 直生式气氛 将气体燃料和空气按吸热式气氛的比例配好，直接通入渗碳炉中，在炉内裂解成所需成分的气氛。利用氧探头和微处理机以及碳势控制系统，可以实现这种气氛的碳势精确控制。采用直生式气氛省略了气体发生炉，可以减少能耗。

(40) 中性气氛 在给定温度下不与被加热工件发生化学反应的气氛。

(41) 氧化气氛 在给定温度下与被加热工件发生氧化反应的气氛。

(42) 还原气氛 在给定温度下可使金属氧化物还原的气氛。

(43) 冷却制度 对工件热处理冷却条件（冷却介质、冷却速度）所作的规定。

(44) 冷却速度 热处理冷却过程中，在某一指定温度区间或某一温度下，工件温度随时间下降的速率。前者称为平均冷却速度，后者称为瞬时冷却速度。

(45) 马氏体临界冷却速度 工件淬火时可抑制非马氏