

■ 冯益柏 主编

# 热处理设备 选用手册

RECHULI SHEBEI  
XUANYONG SHOUC



化学工业出版社

# 热处理设备 选用手册



RECHULI SHEBEI  
XUANYONG SHOUC

■ 冯益柏 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书重点介绍了热处理电阻炉、盐浴炉、流态粒子炉、真空炉、等离子炉、热处理感应加热装置，火焰表面加热装置，激光、电子束与气相沉积表面改性装置，淬火设备，可控气氛发生装置、清洗装置、矫直装置、起重运输机械和炉温测量与控制装置等的基本结构、功能作用、操作方法、维修或维护保养方法等内容。

本书是从事热处理研究、产品设计、制造生产、管理销售和教学等人员必读必备图书，是相关专业人士热处理设备选型指南。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

热处理设备选用手册/冯益柏主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-122-15008-0

I. ①热… II. ①冯… III. ①热处理设备-技术手册  
IV. ①TG155-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 173729 号

---

责任编辑: 邢 涛

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 边 涛

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: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 34½ 字数 905 千字 2013 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: 138.00 元

版权所有 违者必究

## 本书编委会

主 任：才鸿年 冯益柏

编 委：（排名不分先后）

才鸿年 冯益柏 袁书强 张振文 郑顺奇 李旭东  
杨振强 张玉龙 李桂变

## 本书编写人员

主 编：冯益柏

副 主 编：袁书强 张振文 郑顺奇 李旭东 杨振强

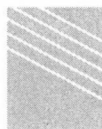
执行主编：张玉龙 李桂变

编写人员：（排名不分先后）

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 何 方 | 史洪刚 | 王国义 | 李桂群 | 袁书强 | 王敏芳 |
| 孙葆森 | 陈学军 | 石 磊 | 刘 前 | 宝庆雷 | 刘宝玉 |
| 张淑琴 | 许劲松 | 朱晓英 | 冯益柏 | 张振文 | 张伟强 |
| 孙德强 | 蒋亦舟 | 杜仕国 | 王迎春 | 李树奎 | 李旭东 |
| 王连义 | 刘国宾 | 李桂变 | 李 萍 | 郑顺奇 | 袁 君 |
| 刘原栋 | 杨振强 | 杨晓冬 | 张艳琴 | 张卫东 | 张玉龙 |
| 崔志军 | 米文宇 | 倪 杨 | 国 宁 | 赵金伟 | 姚春臣 |
| 黄晓霞 | 曹根顺 | 戴均平 | 段建萍 | 王嘉平 | 王国杰 |
| 李晓鹏 | 郑锡坤 | 刘永刚 | 沙 恒 | 罗 虹 | 李晓娜 |
| 王英杰 |     |     |     |     |     |



# 前言



热处理设备是实现热处理工艺技术的有效手段，其质量高低和先进程度直接决定被处理工件的质量。故热处理设备的制造与研制一直受到业内人员的普遍关注。各国均投入大量的人力、物力开发新型高度自动化的热处理设备。近几年来，随着高新技术在热处理设备研制中的应用，使其先进程度和自动化水平均得到长足发展。为热处理工艺技术的发展起到重要的引领作用，也展示了高超的机械制造水平和能力，使这一传统的工艺技术充满了光明的发展前景。

为了普及热处理设备的基础知识，推广并宣传近年来热处理设备研究制造与应用成果，中国兵工学会材料委员会、山东兵工学会、内蒙古第一机械制造厂联合编写了本书。本书较为详细地介绍了热处理电阻炉、盐浴炉、液态粒子炉、燃料炉、真空炉、等离子炉，热处理感应加热设备，火焰表面加热装置、激光、电子束与气相沉积表面改性装置、淬火设备、可控气氛发生装置、清洗装置、矫直装置、起重运输机械和炉温测量与控制装置等的基本结构、功能作用、操作方法、维修或维护保养方法等内容，另外，还对热处理设备的基础知识扼要地进行了说明，是从事热处理研究、产品设计、制造生产、管理销售和教学等人员必读必备之书。书中还增加了新型热处理设备推荐内容，可供广大热处理设备用户选购。

本书突出实用性、先进性和可操作性，理论叙述从简，侧重于实例和实用数据说明问题，全书结构清晰严谨，信息量大，数据翔实可靠，图文并茂，查阅方便。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请批评指正。

编者

2012年8月

# 目录

## 第一章 热处理设备基础

1

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一节 热传递基础 .....           | 1  |
| 一、传导传热 .....              | 1  |
| 二、对流传热 .....              | 1  |
| 三、辐射传热 .....              | 1  |
| 第二节 筑炉材料 .....            | 2  |
| 一、耐火材料和保温材料 .....         | 2  |
| 二、热处理工艺辅助材料 .....         | 4  |
| 第三节 热处理设备的分类与特性 .....     | 5  |
| 一、基本概念与分类 .....           | 5  |
| 二、热处理主要设备 .....           | 6  |
| 三、热处理辅助设备 .....           | 6  |
| 四、热处理炉 .....              | 7  |
| 五、加热装置与特点 .....           | 10 |
| 六、气相沉积装置与热处理设备的技术指标 ..... | 11 |

## 第二章 热处理电阻炉

14

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一节 炉体结构与功率计算 .....    | 14 |
| 一、热处理电阻炉炉体结构 .....     | 14 |
| 二、热处理电阻炉功率计算 .....     | 18 |
| 第二节 主要类型与性能 .....      | 22 |
| 一、普通间隙式箱式电阻炉 .....     | 22 |
| 二、台车炉 .....            | 25 |
| 三、RJ 系列自然对流井式电阻炉 ..... | 27 |
| 四、强迫对流箱式电阻炉 .....      | 29 |
| 五、强迫对流井式电阻炉 .....      | 34 |
| 六、井式渗碳炉和渗氮炉 .....      | 36 |
| 七、罩式炉 .....            | 38 |
| 八、密封箱式炉 .....          | 41 |
| 九、转筒式炉 .....           | 48 |
| 十、推杆式连续热处理炉及其生产线 ..... | 48 |
| 十一、输送带式炉及其生产线 .....    | 56 |
| 十二、振底式炉 .....          | 60 |
| 十三、辊底式炉 .....          | 68 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 十四、转底式炉 .....         | 70 |
| 十五、滚筒式(鼓形)炉 .....     | 74 |
| 十六、步进式和摆动步进式炉 .....   | 75 |
| 十七、牵引式炉 .....         | 76 |
| 第三节 电阻炉的操作与维修 .....   | 79 |
| 一、箱式电阻炉的操作和设备改造 ..... | 79 |
| 二、井式电阻炉操作 .....       | 85 |

### 第三章 热处理浴炉及流态粒子炉 92

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一节 简介 .....                | 92  |
| 一、主要类型与分类 .....             | 92  |
| 二、浴炉的品种和代号 .....            | 93  |
| 三、浴炉的特性 .....               | 94  |
| 四、浴炉的热工性能 .....             | 94  |
| 第二节 主要类型与特点 .....           | 95  |
| 一、低温浴炉 .....                | 95  |
| 二、外部电加热中温浴炉 .....           | 100 |
| 三、燃料加热中温浴炉 .....            | 102 |
| 四、插入式电极盐浴炉 .....            | 104 |
| 五、埋入式电极盐浴炉 .....            | 109 |
| 六、盐浴炉排烟装置 .....             | 119 |
| 七、盐浴炉设备机械化与自动化 .....        | 121 |
| 第三节 浴炉操作、安全与维修技术和设备改造 ..... | 124 |
| 一、盐浴炉操作技术 .....             | 124 |
| 二、硝酸盐操作技术 .....             | 125 |
| 三、硝酸盐槽操作技术 .....            | 125 |
| 四、回火用盐浴坩埚电炉操作技术 .....       | 126 |
| 五、盐浴炉的管理 .....              | 127 |
| 六、盐浴炉的安全操作技术 .....          | 128 |
| 七、盐浴含氯钡废渣的处理技术 .....        | 129 |
| 八、盐浴炉的改造技术 .....            | 130 |
| 第四节 流态粒子炉 .....             | 133 |
| 一、流态粒子炉工作原理 .....           | 133 |
| 二、流态粒子炉的基本类型与特点 .....       | 135 |
| 三、流态粒子炉技术性能 .....           | 139 |
| 四、流态粒子炉的应用 .....            | 141 |

### 第四章 热处理燃料炉 143

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第一节 简介 .....    | 143 |
| 一、常用燃料炉分类 ..... | 143 |
| 二、燃料炉炉型选择 ..... | 144 |

|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 382 | 第二节 炉用燃料及燃烧计算 ..... | 146 |
| 382 | 一、燃料分类 .....        | 146 |
| 382 | 二、固体燃料 .....        | 147 |
| 382 | 三、液体燃料 .....        | 149 |
| 382 | 四、气体燃料 .....        | 153 |
| 382 | 第三节 燃料炉类型与特点 .....  | 154 |
| 382 | 一、室式炉 .....         | 154 |
| 382 | 二、台车式炉 .....        | 156 |
| 382 | 三、井式炉 .....         | 160 |
| 382 | 四、振底式炉 .....        | 160 |
| 382 | 五、步进式炉 .....        | 162 |
| 382 | 六、罩式炉 .....         | 167 |
| 382 | 七、差温炉 .....         | 170 |
| 382 | 第四节 燃料炉附属设备 .....   | 174 |
| 382 | 一、燃烧装置 .....        | 174 |
| 382 | 二、预热器 .....         | 189 |
| 382 | 三、管道 .....          | 193 |
| 382 | 四、炉用机械 .....        | 199 |
| 382 | 五、排烟系统 .....        | 208 |
| 382 | 第五节 燃料炉的操作与调节 ..... | 210 |
| 382 | 一、烘炉 .....          | 210 |
| 382 | 二、燃料炉操作规程 .....     | 212 |
| 382 | 三、燃料炉的调节 .....      | 214 |

## 第五章 真空与等离子热处理炉 217

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 382 | 第一节 真空热处理炉 .....          | 217 |
| 382 | 一、真空热处理炉的基本类型与特点 .....    | 217 |
| 382 | 二、真空热处理炉的结构 .....         | 221 |
| 382 | 三、真空系统 .....              | 228 |
| 382 | 四、真空测量与供气 .....           | 234 |
| 382 | 五、真空热处理炉的性能考核与使用维修 .....  | 240 |
| 382 | 六、常用真空热处理炉 .....          | 243 |
| 382 | 第二节 等离子热处理炉 .....         | 265 |
| 382 | 一、等离子热处理炉的类型与特点 .....     | 265 |
| 382 | 二、等离子热处理炉的主要构件 .....      | 267 |
| 382 | 三、等离子热处理炉的电源及控制系统 .....   | 273 |
| 382 | 四、供选用的等离子热处理炉 .....       | 280 |
| 382 | 五、等离子热处理炉的性能考核与使用维修 ..... | 287 |

## 第六章 热处理感应加热装置 292

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 382 | 第一节 感应加热电源 ..... | 292 |
|-----|------------------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 一、简介 .....                | 292 |
| 二、晶闸管中频感应加热电源 .....       | 294 |
| 三、MOSFET 固态感应加热电源 .....   | 295 |
| 四、真空管(电子管)高频感应加热电源 .....  | 298 |
| 第二节 工频感应加热装置 .....        | 299 |
| 一、简介 .....                | 299 |
| 二、工频感应加热供电线路 .....        | 300 |
| 三、工频感应加热电路主要参数的计算 .....   | 300 |
| 四、工频感应加热装置的安装、使用与维护 ..... | 302 |
| 第三节 感应热处理设备 .....         | 303 |
| 一、简介 .....                | 303 |
| 二、感应淬火机床 .....            | 304 |
| 三、可供选的感应淬火机床 .....        | 308 |

## 第七章 火焰表面加热装置 324

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一节 简介 .....         | 324 |
| 第二节 乙炔发生器 .....      | 324 |
| 一、乙炔及其发生器 .....      | 324 |
| 二、气瓶与管道 .....        | 328 |
| 第三节 火焰加热用工具与阀类 ..... | 331 |
| 一、火焰加热器 .....        | 331 |
| 二、气体减压器 .....        | 334 |
| 三、快速启闭阀 .....        | 335 |
| 四、气体调节阀 .....        | 336 |
| 五、流量计 .....          | 336 |
| 第四节 火焰淬火机床 .....     | 337 |
| 一、利用气割机小车淬火 .....    | 337 |
| 二、齿轮火焰淬火机床 .....     | 338 |
| 三、立式火焰淬火机床 .....     | 340 |

## 第八章 表面改性热处理设备 341

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一节 激光表面热处理装置 .....  | 341 |
| 一、简介 .....           | 341 |
| 二、激光表面热处理装置的构成 ..... | 342 |
| 三、可供选用的激光热处理装置 ..... | 350 |
| 四、激光加工的安全防护措施 .....  | 352 |
| 第二节 电子束表面改性装置 .....  | 353 |
| 一、电子束表面改性装置 .....    | 353 |
| 二、电子束热处理装置组成 .....   | 355 |
| 第三节 气相沉积装置 .....     | 362 |
| 一、化学气相沉积装置 .....     | 362 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 二、等离子体辅助化学气相沉积装置 ..... | 364 |
| 三、等离子体增强化学气相沉积 .....   | 366 |
| 四、物理气相沉积 .....         | 368 |
| 五、沉积金刚石薄膜的技术 .....     | 379 |

## 第九章 热处理冷却设备 381

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一节 简介 .....           | 381 |
| 一、热处理、冷却设备的功能作用 .....  | 381 |
| 二、主要类型与分类方法 .....      | 381 |
| 第二节 浸液式淬火设备（淬火槽） ..... | 383 |
| 一、常见淬火槽的结构形式 .....     | 383 |
| 二、淬火槽 .....            | 388 |
| 三、淬火介质的加热与冷却 .....     | 397 |
| 第三节 淬火辅助装置 .....       | 403 |
| 一、淬火槽输送机械 .....        | 403 |
| 二、去除淬火槽氧化皮的装置 .....    | 407 |
| 三、淬火槽排烟装置与烟气净化 .....   | 408 |
| 四、淬火冷却过程的控制装置 .....    | 410 |
| 五、淬火槽冷却能力的测定 .....     | 415 |
| 六、淬火油槽的防火 .....        | 417 |
| 第四节 淬火机械与冷处理设备 .....   | 418 |
| 一、淬火压床和淬火机 .....       | 418 |
| 二、喷射式淬火装置 .....        | 422 |
| 三、冷处理设备 .....          | 425 |

## 第十章 热处理辅助设备 429

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一节 可控气氛发生装置 ..... | 429 |
| 一、吸热式气氛发生装置 .....  | 429 |
| 二、放热式气氛发生装置 .....  | 438 |
| 三、工业氮制备装置 .....    | 443 |
| 四、其他气氛发生装置 .....   | 450 |
| 五、气体净化装置 .....     | 454 |
| 六、可控气氛经济指标对比 ..... | 461 |
| 第二节 清洗设备 .....     | 462 |
| 一、一般清洗机 .....      | 462 |
| 二、超声波清洗设备 .....    | 466 |
| 三、脱脂炉清洗设备 .....    | 468 |
| 四、真空清洗设备 .....     | 468 |
| 五、溶剂型真空清洗机 .....   | 470 |
| 第三节 清理及强化设备 .....  | 472 |
| 一、机械式抛丸设备 .....    | 472 |



|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 二、抛丸强化设备 .....                    | 477        |
| 第四节 矫直与起重运输设备 .....               | 482        |
| 一、矫直设备 .....                      | 482        |
| 二、起重运输设备 .....                    | 486        |
| 第五节 热处理用夹具 .....                  | 486        |
| 一、热处理夹具选择条件 .....                 | 486        |
| 二、热处理夹具用钢 .....                   | 489        |
| <b>第十一章 炉温测量与控制</b> .....         | <b>496</b> |
| 第一节 温度传感器 .....                   | 496        |
| 一、热电偶 .....                       | 496        |
| 二、热电阻 .....                       | 502        |
| 三、全辐射温度计 .....                    | 503        |
| 四、光学高温计 .....                     | 504        |
| 五、光电高温计 .....                     | 506        |
| 六、红外光电高温计 .....                   | 506        |
| 七、其他温度测量仪 .....                   | 507        |
| 第二节 温度显示与调节仪表 .....               | 509        |
| 一、常规温度显示与调节仪表 .....               | 509        |
| 二、数字式温度显示调节仪表 .....               | 512        |
| 三、智能温度调节仪 .....                   | 514        |
| 四、显示调节仪的选择 .....                  | 517        |
| 第三节 温度控制执行器 .....                 | 517        |
| 一、电阻炉控温执行器 .....                  | 517        |
| 二、燃料炉控温执行器 .....                  | 522        |
| 第四节 热处理温度控制方法 .....               | 529        |
| 一、被控对象的动态特性 .....                 | 529        |
| 二、比例 (P) 积分 (I)、微分 (D) 控制规律 ..... | 529        |
| 三、数字 PID 控制算法 .....               | 530        |
| 四、PID 调节器结构选择 .....               | 530        |
| 五、PID 参数选择 .....                  | 530        |
| 六、新型智能控制方法 .....                  | 531        |
| 七、电阻炉温度自动控制回路 .....               | 533        |
| 八、燃料炉温度自动控制系统 .....               | 535        |
| 参考文献 .....                        | 539        |

热处理设备基础

热处理设备基础

# 第一章 热处理设备基础

## 第一节 热传递基础

热处理炉的任务是加热金属零件，它不但要保证达到既定的加热温度、加热速度，满足零件的均热保温要求，还应能较好地控制加热和冷却速度，减少热能的损失，降低加热成本，节省能源。

热源发出热量加热金属零件，是通过热量的传递完成的，热传递是物体相互间或同一物体内部热能的传递。温度差是热传递的必要条件，物体间只要存在着温度差，就必然产生热量的传递。

热传递是一种复杂的物理现象，它分为传导、对流和辐射三种基本形式。实际上，上述三种传热方式并非单独存在，热量从某物体传递至另一物体往往是以几种传热形式综合进行的。

### 一、传导传热

传导传热是依靠物体中微观粒子的热振动进行的。温度较高的物体，其分子、原子及电子（即微观粒子）具有较高的能量，当它与温度较低的物体或质点接触时，前者即将本身的部分能量传给后者，这种定向的、有秩序发生的热量转移过程称为传导传热。传导传热在固体、液体和气体中都存在。

传导传热方式很多，如热处理炉在升温过程中，炉膛温度比室温高得多，所以必然有热量从炉衬内表面向外表面传递，炉衬质点没有移动，仅热量由内向外转移；工件在加热时，表面温度先升高，随后中心温度逐步升高，都属于传导传热。

### 二、对流传热

当流体（气体、液体、流动粒子）中存在温度差时，流体中不同部分发生相对位移，使不同部分的质点相互混合或流动的流体与固体表面接触。由于两者之间存在温度差而引起热交换，称为对流传热。对流传热的特点是流体由空间的某一区域流向温度不同的另一区域，同时在流体各部分及流体与固体表面之间存在着传导传热，这种综合的热传递过程又称为对流给热，或称为对流换热。例如热风炉中工件的加热。

### 三、辐射传热

辐射传热是电磁波传播热量的过程。具有一定温度的物体内部的分子、原子、离子振动或电子运动而向各方向发射辐射能，当辐射能投射到另一物体时部分被吸收，转化为热能而将其加热。它与传导和对流传热的本质区别在于，它不需要与传热物体或质点直接接触，而且在热量交换的同时，还伴随着能量形式的转化。如在普通箱式电阻炉中用辐射管或电热体加热工件时，辐射传热占有主要地位。

热处理生产中零件在加热炉中被加热的过程,往往有几种传热方式,如零件表面被辐射加热,表面又以传导方式将整个零件均匀加热。

## 第二节 筑炉材料

### 一、耐火材料和保温材料

大多数热处理炉的炉体结构材料采用的是耐火材料和保温材料,这是因为热处理炉工作时,通常处于高温状态。凡是能够抵抗高温并承受在高温下所产生的物理、化学作用的非金属材料,统称为耐火材料。在设计和建造热处理炉时,合理选用耐火材料和保温材料,对满足热处理工艺要求、提高热处理炉的使用寿命、节约能源和降低成本有重要意义。

#### (一) 耐火材料的工作性能

耐火材料的工作性能包括耐火度、高温结构强度、化学稳定性、热稳定性、体积稳定性、绝缘性等。

(1) 耐火度 耐火度是指耐火材料受热后软化到一定程度时的温度。它表示材料在高温下抵抗烧熔的性能,但并不是其熔点。按耐火度的不同,可将耐火材料分为三种:普通耐火材料(耐火度为 $1580\sim 1770^{\circ}\text{C}$ )、高级耐火材料(耐火度为 $1770\sim 2000^{\circ}\text{C}$ )、特级耐火材料(耐火度为 $2000^{\circ}\text{C}$ 以上)。前两种耐火材料在热处理炉中应用较广泛。

应注意的是,由于还要考虑其高温结构强度,耐火材料实际使用的最高温度比耐火度低很多。

(2) 高温结构强度 高温结构强度用高温荷重软化点来评价。高温荷重软化点是指试样在一定压力( $0.2\text{MPa}$ ,轻质材料为 $0.1\text{MPa}$ )条件下,以一定速度加热( $800^{\circ}\text{C}$ 以下 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , $800^{\circ}\text{C}$ 以上 $4\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ),测出试样开始变形( $0.6\%$ )时的温度和试样变形达 $4\%$ 或 $40\%$ 时的温度。前者称为荷重软化开始点,后者称为荷重 $4\%$ 或 $40\%$ 软化点。

耐火材料的高温结构强度主要取决于化学成分和体积密度,它的最高使用温度必须低于其荷重软化开始点的温度。

(3) 化学稳定性 化学稳定性即耐火材料在高温下抵抗熔渣、熔盐、金属氧化物及炉内气氛等的物理作用和化学作用的性能。耐火材料在高温下对各种介质要保持一定的化学稳定性。例如,制造无罐气体渗碳炉时,高碳气氛对普通黏土砖有破坏作用,炉墙内衬的耐火材料需用含 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 小于 $1\%$ 的耐火砖,即抗渗砖;制造电极盐炉时,由于熔盐对耐火材料的冲刷作用,坩埚材料必须采用重质耐火砖或耐火混凝土;电热组件搁砖不得与电热组件材料发生化学作用,铁、铬、铝电热组件要用高铝砖作搁砖。

(4) 热稳定性 热稳定性表示材料抵抗温度急剧变化而不被破坏的性能。热处理炉在使用时经常有急冷、急热的温度变化,因而要求耐火材料在温度急剧变化时,不至于发生剥落或开裂。热稳定性可以用耐急冷、急热性来衡量,将加热到 $850^{\circ}\text{C}$ 的耐火材料在流动水中冷却,反复进行,当其剥落部分质量达到原来质量的 $20\%$ 时,以所受到的急冷、急热次数作为其耐急冷、急热性的大小。耐急冷、急热性与制品的物理性能、形状和大小等因素有关。

(5) 体积稳定性 耐火材料在高温下长期使用时,其内部结构会发生变化(如产生再结晶、烧结等现象),导致耐火材料的体积发生收缩或膨胀,而这种体积变化是不可逆的。它

将影响炉体强度,甚至造成开裂倒塌现象。耐火材料抵抗这种现象的性能称为体积稳定性,耐火材料应具有良好的体积稳定性,一般要求体积变化量不得超过1%。

(6) 绝缘性 耐火材料在高温下必须有良好的绝缘性,不至于因与发热体接触而产生漏电现象。

## (二) 热处理炉常用的耐火材料

热处理炉常用的耐火材料有黏土砖、高铝质砖、轻质耐火黏土砖、碳化硅耐火制品、硅酸铝耐火纤维、耐火混凝土等。

(1) 黏土砖 黏土砖的主要原料是耐火黏土、高岭土,其化学组成是(质量分数):30%~48%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 50%~65%  $\text{SiO}_2$ , 其他氧化物杂质5%~7%。黏土砖在热处理炉中应用最多,可用于砌筑炉顶、炉底等。但由于其呈弱酸性,对铁、铬、铝加热元件有腐蚀作用,易受  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  的侵入而损坏,不能做电热元件的搁砖和高碳气氛炉的内衬。

(2) 高铝质砖和刚玉制品 高铝质砖中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量大于48%(质量分数),其余成分为  $\text{SiO}_2$ 。耐火度高,最高使用温度达1500℃,高温结构强度高,化学稳定性好,多用于高温热处理炉及盐浴炉的炉衬、电热组件的搁砖等。

刚玉制品中含85%(质量分数)的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,属高铝质砖类,具有很高的高温结构强度和耐火度,常用于电阻丝心棒和搁砖、热电偶套管、高温炉炉底砖等。

(3) 轻质耐火黏土砖与超轻质耐火黏土砖 轻质耐火黏土砖的成分与一般黏土砖相同,只是制造方法不同,其密度很小( $0.4\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ )。而超轻质耐火黏土砖密度则小于 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,气孔多而均匀分布,保温性能好。但它们的荷重软化开始点低,即高温强度低,化学稳定性差,体积变化量较大。宜用做热处理炉衬的保护层,在高温结构强度和耐火度都满足要求的情况下,应尽可能选用轻质耐火黏土砖。

(4) 碳化硅耐火制品 碳化硅耐火制品的主要化学成分是  $\text{SiC}$ ,其耐火度达2000℃以上,高温结构强度高,抗磨性、热导性好。根据其制造工艺的不同,可用做高温炉的电热组件、高温炉的炉底板等。

(5) 硅酸铝耐火纤维 耐火纤维是一种新型软质的纤维状耐火材料,兼有耐火和保温作用。根据原料不同,可分为硅酸铝、石英、氧化铝和石墨耐火纤维等。它具有质量轻、热稳定性好、导热率低、耐机械振动等特点,容易加工,安装方便,可制成毡、板、砖、绳等。纤维毡可用机械固定或用黏结剂粘贴固定于炉墙上,也可制成预制块或预制板或夹于两层耐火材料中间使用。一般热处理炉用硅酸铝纤维,真空炉、热压炉和气氛炉用石墨纤维作耐火材料。但热处理炉内的某些气氛对耐火纤维有腐蚀作用,影响了它的使用范围。

(6) 耐火混凝土 耐火混凝土是以一定粒度的矾土熟料为骨料,细粉状矾土熟料为掺和料,加水,按一定比例混合,用水泥胶结、成形、硬化后得到的耐火材料。其优点是可以砌筑整体炉衬,提高修炉和砌炉的速度,使用寿命与用耐火砖砌筑的相近,因此成本低。缺点是耐火度低。

根据所用的胶结材料(水泥)不同,耐火混凝土可分为硅酸盐耐火混凝土、铝酸盐耐火混凝土、磷酸盐耐火混凝土和水玻璃耐火混凝土等。热处理常用铝酸盐耐火混凝土和磷酸盐耐火混凝土。

## (三) 保温材料

热处理炉炉衬的蓄热量和通过炉壁散失的热量是热处理炉热损失的主要部分。为减少炉体热传导引起的热损失,提高加热炉的热效率,在耐火层外需砌一层保温材料。保温材料应具有体积密度小、热导率低、热容量小、工作温度下不导电等特点。常用的保温材料有石



棉、硅藻土、矿渣棉、蛭石、膨胀珍珠岩、岩棉以及玻璃棉制品等超轻质耐火材料。

(1) 石棉 石棉是天然纤维矿物，主要成分是  $\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，熔点为  $1500^\circ\text{C}$ ，高温下不燃烧， $500^\circ\text{C}$  以上会脱水而粉化，使强度降低，故使用温度不能超过  $500^\circ\text{C}$ 。常加工成石棉绳、石棉板、石棉布等形状使用。石棉纤维对人体有害，因此石棉制品的使用呈减少趋势。

(2) 硅藻土 硅藻土是有机藻类腐败形成的天然疏松多孔物质，主要成分是非晶体  $\text{SiO}_2$ （占  $74\% \sim 94\%$ ），其余为黏土杂质，具有很好的保温能力，使用温度低于  $900^\circ\text{C}$ 。大多数以硅藻土砖使用，也可散装作粉料使用。

(3) 矿渣棉 矿渣棉是用高炉炉渣加工而成的人造纤维状材料，其特点是密度小，热导率低，吸湿性差而不燃烧。当矿渣棉堆积过厚或受震动时，易被压实，使密度增加而降低保温性能。

(4) 蛭石 蛭石俗称为黑云母，易于剥成薄片，主要成分是  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$  和  $5\% \sim 10\%$ （质量分数）的化合水，受热后其中的水分急剧蒸发，体积膨胀而成膨胀蛭石，体积密度减小，热导率低，因而保温性能良好。其最高使用温度可达  $1000^\circ\text{C}$ ，可以直接将脱水后的蛭石倒入炉壳与耐火炉衬之间使用，也可以胶结成各种形状的保温制品。

(5) 膨胀珍珠岩及其制品 膨胀珍珠岩是以含  $70\%$ （质量分数） $\text{SiO}_2$  的天然珍珠岩为主要原料烧制而成的良好保温材料。其密度小，热导率小，绝缘性优于硅藻土，使用温度可达  $1000^\circ\text{C}$ 。既可作散料使用，又可制成各种制品使用。

(6) 玻璃棉制品 玻璃棉制品包括硅酸铝棉耐火纤维、高硅氧玻璃纤维、超细玻璃棉、超细树脂毡等纤维制品。

## 二、热处理工艺辅助材料

在热处理生产中的工艺辅助材料包括各种加热和冷却介质、脱氧剂、除锈剂等，通常使用的是各种溶液、油类、酸、碱、盐、气体等物质，它们对热处理产品质量起着十分重要的作用。其中常用的部分工艺辅助材料见表 1-1。

表 1-1 热处理生产常用的部分工艺辅助材料

| 名称    | 外 观    | 化 学 成 分                                          | 成分等级和指标(质量分数)/% |             |
|-------|--------|--------------------------------------------------|-----------------|-------------|
|       |        |                                                  | 一级              | 二级          |
| 无水氯化钡 | 白色结晶粉末 | 无水氯化钡( $\text{BaCl}_2$ )                         | 98.0            |             |
|       |        | 硫化物(以 $\text{S}^{2-}$ 计)                         | $\leq 0.002$    |             |
|       |        | 铁(Fe)                                            | $\leq 0.002$    |             |
|       |        | 水不溶物                                             | $\leq 0.10$     |             |
|       |        | 水分                                               | $\leq 1.0$      |             |
| 氯化钡   | 白色结晶粉末 | 氯化钡( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) | $\geq 98.5$     | $\geq 97.0$ |
|       |        | 硫化物(以 $\text{S}^{2-}$ 计)                         | $\leq 0.005$    | $\leq 0.05$ |
|       |        | 铁(Fe)                                            | $\leq 0.001$    | $\leq 0.01$ |
|       |        | 水不溶物                                             | $\leq 0.05$     | $\leq 0.10$ |
|       |        | 水分                                               | $\leq 0.05$     | $\leq 0.10$ |
| 氯化钠   | 白色结晶粉末 | 氯化钠( $\text{NaCl}$ )                             | $\geq 98.5$     | $\geq 97.0$ |
|       |        | 硫酸盐(以 $\text{SO}_4^{2-}$ 计)                      | $\leq 0.10$     | $\leq 0.25$ |
|       |        | 铁(Fe)                                            | $\leq 0.01$     | $\leq 0.05$ |
|       |        | 水不溶物                                             | $\leq 0.05$     | $\leq 0.20$ |
|       |        | 水分                                               | $\leq 0.25$     | $\leq 0.50$ |

续表

| 名称   | 外 观              | 化 学 成 分                      | 成分等级和指标(质量分数)/% |       |
|------|------------------|------------------------------|-----------------|-------|
|      |                  |                              | 一级              | 二级    |
| 氯化钾  | 白色结晶粉末           | 氯化钾(KCl)                     | ≥96.0           | ≥94.5 |
|      |                  | 硫酸盐(以 $\text{SO}_4^{2-}$ 计)  | ≤0.10           | ≤0.25 |
|      |                  | 铁(Fe)                        | ≤0.01           | ≤0.05 |
|      |                  | 水不溶物                         | ≤0.05           | ≤0.20 |
|      |                  | 水分                           | ≤0.25           | ≤0.50 |
| 硝酸钠  | 白色结晶粉末           | 硝酸钠( $\text{NaNO}_3$ )       | ≥99.0           | 98.0  |
|      |                  | 氯化物(以 NaCl 计,以干基计)           | ≤0.20           | ≤0.40 |
|      |                  | 水分                           | ≤1.0            | ≤2.0  |
|      |                  | 水不溶物(以干基计)                   | ≤0.10           | ≤0.15 |
| 硝酸钾  | 白色结晶粉末           | 硝酸钾( $\text{KNO}_3$ )        | ≥98.0           | ≥97.0 |
|      |                  | 氯化物(以 KCl 计,以干基计)            | ≤0.20           | ≤0.40 |
|      |                  | 水分                           | ≤0.20           | ≤0.50 |
|      |                  | 水不溶物(以干基计)                   | ≤0.05           | ≤0.10 |
| 亚硝酸钠 | 略带淡黄色的<br>白色结晶粉末 | 亚硝酸钠( $\text{NaNO}_2$ ,以干基计) | ≥99.0           | ≥98.0 |
|      |                  | 硝酸钠( $\text{NaNO}_3$ ,以干基计)  | ≤0.90           | ≤1.90 |
|      |                  | 水分                           | ≤2.0            | ≤2.5  |
|      |                  | 水不溶物(以干基计)                   | ≤0.05           | ≤0.10 |

热处理生产使用的工艺辅助材料相当一部分都属于化学危险品，有的易燃易爆，有的甚至有剧毒，必须制定严格的使用和保管制度，避免因保管不善发生变质或出现生产和安全事故。工艺辅助材料的保管方法如下。

① 遇热易爆的固态结晶体如硝酸钠 ( $\text{NaNO}_3$ )、亚硝酸钠 ( $\text{NaNO}_2$ )、硝酸钾 ( $\text{KNO}_3$ ) 要用麻袋或纤维袋内加塑料袋双层密封包装，置于阴凉干燥处，远离油类、木炭、木屑等易燃品。

② 具有腐蚀性的化学危险品苛性钠 ( $\text{NaOH}$ )、苛性钾 ( $\text{KOH}$ ) 等要用铁桶密封包装，置于通风干燥处，不要让工件与其随便接触。

③ 各类油品必须用铁桶密封包装，存入危险品仓库，不得与其他易燃易爆品置于一处，严禁烟火与日光暴晒。

④ 大部分热处理生产用气（如氧气、氨气、乙炔等）都是用高压气瓶或贮气罐贮存，均需经打压检验后方可使用。各种气体不得同放一室，各种气瓶必须与易燃易爆品、腐蚀品等隔离存放，严禁振动、日晒、与明火和辐射热接触，以防瓶内气体受热膨胀而爆炸。

第三节 热处理设备的分类与特性

一、基本概念与分类

热处理设备是指用于实施热处理工艺的装备。在热处理车间内还有维持热处理生产所需



的燃料、电力、水、气等动力供应设备，以及起重运输设备、生产安全和环保设备。

通常把完成热处理工艺操作的设备称为主要设备。把与主要设备配套的和维持生产所需的设备称为辅助设备。热处理车间设备的分类见表 1-2。

表 1-2 热处理车间设备的分类

|      |             |      |                 |
|------|-------------|------|-----------------|
| 主要设备 | 热处理炉        | 辅助设备 | 清洗、清理设备         |
|      | 加热装置        |      | 炉气氛、加热介质、渗剂制备设备 |
|      | 表面改性装置      |      | 淬火介质循环冷却装置      |
|      | 表面氧化装置      |      | 起重运输机械          |
|      | 表面机械强化装置    |      | 质量检测设备          |
|      | 淬火冷却设备      |      | 动力输送管路及辅助设备     |
|      | 冷处理设备       |      | 防火、除尘等生产安全设备    |
|      | 工艺参数检测、控制仪表 |      | 工夹具             |

二、热处理主要设备

(1) 热处理炉 热处理炉是指具有炉膛的热处理加热设备。因在加热过程中炉膛首先被加热，再参与对工件的热交换，所以热处理炉的加热性质属于间接加热。

(2) 加热装置 加热装置是指热源直接对工件加热的装置。因此，其加热性质属直接加热。其加热方法可以是火焰直接喷烧工件，电流直接输入工件将其加热，在工件内产生感应电流加热工件及等离子体、激光、电子束冲击工件而加热等。

(3) 表面改性装置 这类装置主要有气相沉积装置和离子注入装置等。气相沉积装置是指通过在气相中的物理、化学过程，在工件表面上沉积金属或化合物涂层的装置。离子注入是把氮、金属等的离子注入材料表面。这类工艺方法不同于传统的通过加热和冷却发生相变而强化金属的热处理方法，是现代新兴的一种改善金属表面性能的方法。

(4) 表面氧化装置 表面氧化装置是指通过化学反应在工件表面生成一层致密的氧化膜的装置。它由一系列槽子组成，通常称发蓝槽或发黑槽。

(5) 表面机械强化装置 表面机械强化装置是指利用金属丸抛击或压力辊压或施加预应力，使工件形成表面压应力或预应力状态的装置，有抛丸机和辊压机等。

(6) 淬火冷却设备 淬火冷却设备是指用于热处理淬火冷却的装置，有各种冷却介质的淬火槽、喷射式淬火装置和压力淬火机等。

(7) 冷处理设备 冷处理设备是指用于将热处理件冷却到 0℃ 以下的设备。常用的装置有冷冻机、干冰冷却装置和液氮冷却装置。

(8) 工艺参数检测、控制仪表 工艺参数检测、控制仪表，通常是指对温度、流量、压力等参数的检测、指示和控制仪表。随着计算机控制技术的应用，使人们对热处理工艺参数控制的概念发生了根本性的变化，除常规的工艺参数控制外，还有工艺过程静态和动态控制、生产过程机电一体化控制、计算机模拟仿真等。计算机的控制成为工艺过程和设备运行的指挥中心。

三、热处理辅助设备

(1) 清洗和清理设备 清洗和清理设备是指对热处理前、后工件清洗或清理的设备。

常用的清洗设备有碱水溶液、磷酸水溶液、有机溶剂（氯乙烯、二氯乙烷等）的清洗槽和清洗机以及配合真空、超声波的清洗装置。

清理设备有化学法的酸洗设备，机械法的清理滚筒、喷砂机和抛丸机，燃烧法的脱脂炉等。