

真空热处理与 燃料热处理炉

唐殿福 主编

辽宁科学技术出版社

真空热处理与 燃料热处理炉

唐殿福 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

真空热处理与燃料热处理炉 / 唐殿福主编. — 沈阳:
辽宁科学技术出版社, 2016.3
ISBN 978-7-5381-9635-1

I. ①真… II. ①唐… III. ①真空热处理②真空热处理炉 IV. ①TG156.95②TG155.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第010309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29号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁新华印务有限公司

经销者: 各地新华书店

开本: 850 mm × 1168 mm 1/32

印张: 21.5

字数: 457 千字

出版时间: 2016年3月第1版

印刷时间: 2016年3月第1次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 于浪

版式设计: 于浪

责任校对: 李淑敏 刘庶

书号: ISBN 978-7-5381-9635-1

定价: 70.00 元

投稿热线: 024-23284373

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkjc@126.com

http://www.lnkj.com.cn

上 篇

真空热处理

包耳 田绍洁 主编

总目录

上篇 / 1.....226

真空热处理

包 耳 田绍洁 主编

下篇 / 1.....427

燃料热处理炉

吴建国 张卫军 战洪仁 主编

目 录

前 言

第一章 真空基础知识	1
第一节 真空的概念	1
一、大气压力	1
二、真空	1
三、真空度及其单位	2
四、真空区域的划分	4
第二节 真空状态下的特点	6
一、理想气体状态方程及其基本定律	6
二、气体分子平均运动速度和平均自由程	7
三、固体的吸气和放气	8
第二章 真空热处理工艺原理	10
第一节 金属在真空状态下的相变特点及其表面状态	10
第二节 真空的保护作用（光亮热处理）	13
第三节 真空的除气（脱气）作用	17
第四节 真空的表面净化及脱脂作用	21
第五节 真空的蒸发作用	25
第三章 真空热处理工艺	29
第一节 真空条件下金属加热特点及加热时间的确定	29
一、真空条件下金属加热特点	29
二、真空加热时间的确定	30
第二节 真空退火	33
一、高温、难熔金属的退火	33

二、金属和合金的除气处理	36
三、钢铁材料及铜合金的退火	37
第三节 真空淬火与回火	40
一、真空淬火的冷却	40
二、真空淬火的质量效果	56
三、真空淬火应注意的问题	60
四、回火	62
五、真空度的选择及气压调节	66
六、真空淬火、回火的应用及实例	69
第四节 真空渗碳及真空离子渗碳	104
一、真空渗碳	104
二、乙炔真空渗碳	124
三、真空离子渗碳	128
第五节 真空碳氮共渗及真空离子碳氮共渗	139
一、真空碳氮共渗	139
二、真空离子碳氮共渗	143
第六节 真空脉冲渗氮及真空脉冲氮碳共渗	147
一、真空脉冲渗氮	147
二、真空脉冲氮碳共渗	155
第七节 真空渗硼及真空渗铬	159
一、真空渗硼	159
二、真空渗铬	160
第四章 真空热处理炉	164
第一节 概述	164
一、我国真空热处理炉发展概况	164
二、真空热处理炉的基本类型	165
三、外热式和内热式真空热处理炉比较	165
四、真空热处理炉的特殊技术要求及常用真空检漏法	166
第二节 外热式真空炉	168

一、常用外热式真空热处理炉结构及典型炉型·····	168
二、外热式真空热处理炉技术参数·····	171
第三节 真空退火炉·····	174
一、LZT-150 型立式真空退火炉·····	174
二、WZT-10 型卧式真空退火炉·····	176
三、国内几个生产厂家真空退火炉技术参数·····	179
第四节 真空回火炉·····	180
一、典型真空回火炉·····	180
二、国内一些生产厂家真空回火炉技术参数·····	184
第五节 真空气淬炉·····	186
一、高压气淬的淬硬能力及应用·····	186
二、气淬真空炉的结构类型·····	188
三、高压气淬真空炉·····	190
第六节 油淬及油气淬真空炉·····	202
一、油淬真空炉结构类型·····	202
二、双室油气真空淬火炉·····	203
三、三室油气淬真空炉·····	208
四、连续油(气)淬真空炉·····	211
第七节 水淬真空炉及多用途真空炉·····	213
一、水淬真空炉·····	213
二、多用途真空炉·····	213
第八节 内热式真空渗碳炉·····	216
一、WZST 型真空渗碳炉·····	216
二、VC 型真空渗碳炉·····	218
第九节 真空淬火炉的操作、维护及常见故障排除方法·····	220
一、真空淬火炉的操作·····	220
二、真空炉的维护与保养·····	221
三、真空炉常见故障及其排除方法·····	222
参考文献·····	225

真空基础知识

第一节 真空的概念

一、大气压力

地球周围的大气层是上疏下密的，其疏密之间以及在大气层的上面没有明显的分界，一般根据密度的概念粗略地说，可以认为有 16km 厚。虽然空气很轻，但这么巨大厚度的总重就很可观，它对地球海平面每平方厘米施加的压力有 1.0332kg，相当于 760mmHg 在同样面积上的压力。我们通常把这个压力叫做“1 标准大气压 ($\approx 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$)”。

二、真 空

真空这一术语译自拉丁文 *vacuo*，其意是虚无。其实，真空应理解为气体较稀薄的空间。在给定的空间内，低于一个大气压力的气体状态，统称为真空。即气体分子密度大大低于该地区大气压下的气体分子密度状态。不同的真空状态，就意味着空间具有不同的分子密度。例如在 0℃ 时，760Torr 时的标准状态下，每立方厘米中的分子数为 2.687×10^{19} 个，在真空度为 10^{-3} Torr 时，每立方厘米中的分子数为 3.5×10^{13} 个，而在真空度为 10^{-6} Torr 时，则每立方厘米中的分子数为 3.24×10^{10} 个。由此可见，在真空状态下仍然还有大量的气体分子存在，只不过要比大气状态稀薄得多。

真空状态与大气状态相比，其主要特点：

- (1) 单位体积中气体分子数目较少；
- (2) 在气体内部，气体分子之间的相互碰撞次数较少；
- (3) 气体分子撞击容器壁表面的次数较少。

真空状态下气体的稀薄程度称为真空度，通常用压力值表示。

三、真空度及其单位

为了衡量所获得的真空状态，在真空技术中采用“真空度”这个名词来表示气体稀薄的程度，也就是气体压强的高低。气体越稀薄，其压强越低，表示真空度越高；反之，气体压强越高，表示真空度越低。在实际应用中，“低压强”与“高真空”是同义的。

在不同的科学技术范围内，习惯采用的压强单位往往也不相同。一般有如下几种。

1. mmHg

这是真空技术中常用的单位。它是指 0°C 时，1mm 高的纯 Hg 作用在单位面积上的压力。因为纯汞 0°C 时的比重是 $13.5951\text{g}/\text{cm}^3$ ，所以， $1\text{mmHg} = 13.5951\text{g}/\text{cm}^2$ 。

历史上曾经把北纬 45° 海平面的大气压定为一个物理标准大气压，它是 760mmHg。由于自然界每时每刻都在变化运动，该地区的气压不可能一点没有变化，这样的标准当然是不够严谨的，因此，目前把 1 个国际物理标准大气压固定为如下数值：

$$1\text{atm} (\text{标准大气压}) = 1013250\text{dyn} (\text{达因}) / \text{cm}^2$$

这是把 760mmHg，根据 0°C 时汞的比重为 $13.5951\text{g}/\text{cm}^3$ ，该处的重力加速度为 $980.665\text{cm}/\text{s}^2$ ，换算出来并省略尾数而制订的。因此，它已不完全等于 760mmHg。

2. Torr (托)

1958 年，第一届国际技术会议决定采用 Torr (托) 作为测

量真空度的单位，以代替“mmHg”。Torr 是真空技术中最常用的单位，其定义为：

$$1\text{Torr (托)} = \frac{1}{760}\text{atm} = \frac{1013250}{760}\text{dyn/cm}^2 = 133.322\text{N/m}^2$$

根据上述定义，1Torr 与 1mmHg 在数值上的差异小于七百万分之一，因此，在工程应用上可以认为：

$$1\text{Torr} \approx 1\text{mmHg}$$

在真空测量中，真空度小于 0.1Torr 的情况较多，用小数点表示很不方便，习惯上用负指数表示，如 $0.005\text{Torr} = 5 \times 10^{-3}\text{Torr}$ 。根据负指数的大小，可以清楚地区分真空度的高低。

3. μbar (微巴)

在厘米—克—秒绝对单位制中，其基本单位为 dyn/cm^2 。

$$1\mu\text{bar (微巴)} = 1\text{dyn/cm}^2 = 7.5006 \times 10^{-4}\text{Torr}$$

4. Pa (帕斯卡)

它是目前国际上推荐在真空技术中使用的标准国际单位（米—千克—秒）制，简称“帕”，1971 年在第十四届国际计量大会上正式批准采用。国际计量委员会还建议最好避免使用“Torr”等压强单位。

为了照顾原有习惯，本书仍将“Torr”的换算关系列入其中。

$$\begin{aligned} 1\text{Pa (帕)} &= 1\text{N/m}^2 = 1\text{kg/m} \cdot \text{s}^2 \\ &= 10\text{dyn/cm}^2 = 7.5006 \times 10^{-3}\text{Torr} \end{aligned}$$

工程应用上可近似地认为：

$$1\text{Pa} \approx 7.5 \times 10^{-3}\text{Torr}$$

$$1\text{Torr} \approx 133\text{Pa}$$

除此之外，工程上常用的压强还有大气压（ kg/cm^2 ）、英寸汞柱（inchHg）、普西（Psi，磅/英寸²）等，后二者为英制单位。各常见压强单位之间的换算见表 1-1。

表 1-1 工程压力单位换算表

单位	帕斯卡	巴	标准大气压	托	千克力/厘米 ²	磅力/英寸 ²
符号	Pa	bar	atm	Torr	kgf/cm ²	lbf/in ²
Pa	1	10^{-5}	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	1.020×10^{-5}	1.450×10^{-4}
bar	10^5	1	9.869×10^{-1}	7.501×10^2	1.020	1.450×10
atm	1.013×10^5	1.013	1	7.600×10^2	1.033	1.470×10
Torr	1.333×10^2	1.333×10^{-3}	1.316×10^{-3}	1	1.360×10^{-3}	1.934×10^{-2}
kgf/cm ²	9.800×10^4	9.800×10^{-1}	9.700×10^{-1}	7.400×10^2	1	1.422×10
lbf/in ²	6.900×10^3	6.900×10^{-2}	6.800×10^{-2}	5.200×10	7.000×10^{-2}	1

四、真空区域的划分

目前,真空技术设计的压强已宽达 16 个数量级以上,为了实际应用的方便,国内通常根据低气压的不同范围,把真空划分为如下五个区域。

粗真空: 小于 $10^5 \sim 1.33 \times 10^3 \text{ Pa}$ ($760 \sim 10 \text{ Torr}$)。

低真空: $1.33 \times 10^3 \sim 1.33 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ ($10 \sim 10^{-3} \text{ Torr}$)。

高真空: $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ($10^{-3} \sim 10^{-8} \text{ Torr}$)。

超高真空: $1.33 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ ($10^{-8} \sim 10^{-12} \text{ Torr}$)。

极高真空: 小于 $1.33 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ (10^{-12} Torr)。

这种划分方法的主要依据如下:

(1) 气体在不同压强下的性质。随着真空度的提高,气体变稀,气体的运动物理特性就会逐渐变化。如当压强为 $760 \times 133 \sim 1330 \text{ Pa}$ 时,气体的性质与一般大气还没有显著差别,气体的流动性质属于黏滞流,即气体在管道内的流动与黏滞液体相类似。压强为 $1330 \sim 0.133 \text{ Pa}$ 时,气体的流动性质已属于从黏滞流到分子流的过渡流,此时,气体的导电现象已开始发生。压强为 $0.133 \sim 0.00133 \text{ Pa}$ 时,气体的流动性质为分子流。

(2) 常用真空泵和真空计的工作范围。如压强为 $1330 \sim$

0.133Pa 时,正好是一般机械真空泵和热导式真空计的工作范围,压强为 $0.133 \sim 133 \times 10^{-5}$ Pa 时,所采用的真空测量仪表为电离真空计,而 133×10^{-6} Pa 则是高真空油扩散泵所能达到的极限真空。

(3) 真空技术应用的特点。不同的真空范围有它不同的应用特点。如真空输送、过滤、成型,加速蒸发过程的真空浓缩,一般有 1330Pa 以上的真空度就够了;真空干燥、冷冻干燥、真空浸渍需几百 Pa 到 0.133Pa,真空热处理通常在 $4 \sim 133 \times 10^{-6}$ Pa 之间。

表 1-2 是国内真空区域的划分以及各真空区域主要使用的真空测量仪表和真空泵。

表 1-2 各真空区域的压力值及有关特点

真空区域	低真空	中真空	高真空	超高真空
压力范围 (Pa)	$10^5 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^{-1}$	$10^{-1} \sim 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
每 cm^3 中气体分子数目 (空气, 20°C 时)	$2.5 \times 10^{19} \sim 3.3 \times 10^{16}$	$3.3 \times 10^{16} \sim 3.3 \times 10^{13}$	$3.3 \times 10^{13} \sim 3.3 \times 10^9$	$< 3.3 \times 10^9$
气体分子平均自由程 (cm) (空气, 20°C 时)	$6.6 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-3}$ ($\leq$ 容器尺寸)	$5 \times 10^{-3} \sim 5$ ($\approx$ 容器尺寸)	$5 \sim 5 \times 10^4$ ($>$ 容器尺寸)	$> 5 \times 10^4$
气体流动状态	黏滞流	黏滞流与分子流的过渡域	分子流	只有少数气体分子的运动
确定真空泵容量的主要因素	炉料的放气和真空容器的容积		炉料的内部和表面的放气量	
适用的主要真空泵	机械泵, 各种低真空泵	机械泵, 油或机械增压泵, 油蒸气喷射泵	扩散泵和离子泵	离子泵, 分子泵, 扩散泵加冷阱, 吸附泵等
适用的主要真空计	U 形管和弹簧压力表等	压缩式真空计, 热传导真空计等	冷、热阴极电离真空计	改进型的热阴极电离真空计, 磁控真空计

第二节 真空状态下的特点

一、理想气体状态方程及其基本定律

在平衡状态下，对于某一个容器内具有一定质量的气体，可由压强、体积和温度这三个参数来表示，即理想气体状态方程：

$$pV = \frac{M}{\mu}RT$$

式中： p 为压强； V 为体积； M 为气体质量； μ 为气体分子量； T 为绝对温度（K）； R 为气体普适常数，对任何气体都等于 $62.36 \text{ Torr} \cdot \text{L/K} \cdot \text{g 分子}$ 。

在真空技术领域，低气压气体与理想气体很相近，所以，低气压气体一般都可以应用理想气体状态方程。根据这个方程，对于气体的 p 、 V 、 M 、 T 四个参量，只要已知其中任何三个参量，便可求出第四个参量，而且还可以推导出在不同条件下的三个气体基本定律。

(1) 波义耳定律。一定质量的气体，如果其温度保持不变，气体的压强和体积的乘积为常数，即

$$pV = \text{常数}$$

(2) 盖·吕萨克定律。一定质量的气体，如果保持其压强不变，气体的体积与其绝对温度成正比，即

$$V \propto T \quad \text{或} \quad \frac{V}{T} = \text{常数}$$

(3) 查理定律。一定质量的气体，如果保持其体积不变，气体的压强同其绝对温度成正比，即

$$p \propto T \quad \text{或} \quad \frac{p}{T} = \text{常数}$$

此外，理想气体还有一条很重要的定律，即阿佛加德罗定

律：等体积的任何种类的气体，在同温度同压强下均有相同的分子数。1g 分子的任何气体所占有的体积为 22.4L，其中所含的分子数——阿佛加德罗常数为 6.02252×10^{23} 个。

一般应用的气体是几种气体的混合体，因此，还要用到另一条重要的定律，就是道尔顿定律：相互间不起化学作用的混合气体的总压强等于各气体分压强之和。分压强是指各气体单独存在并占有混合气体的原有体积时所具有的压强。即

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n$$

式中： p 为混合气体的总压强， p_1 、 $p_2 \cdots p_n$ 为各气体的分压强。

二、气体分子平均运动速度和平均自由程

气体是由许多自由运动的分子组成的。由于气体分子间的相互碰撞以及气体分子与容器壁的碰撞，使气体分子热运动十分杂乱，每一个分子的速度都在不断地变化且各不相同。在真空技术中，常用算术平均速度 $\bar{V}$ 和均方根速度 V_s 表示。

(1) 算术平均速度。将气体所有分子速度相加，然后被分子总数除，所求得平均值就是算术平均速度。

$$\bar{V} = 1.45 \times 10^4 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (\text{cm/s})$$

(2) 均方根速度。将气体所有分子速度相加，然后被分子总数除，再开方所求得平均值就是均方根速度。

$$V_s = 1.58 \times 10^4 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (\text{cm/s})$$

从上述各式中可以看到，气体分子热运动速度与绝对温度的平方根成正比，与气体分子质量的平方根成反比。

一个气体分子与其他气体分子相继两次碰撞间所走过的路程称为自由程。自由程的长短相差很大，但相当多的自由程的平均值却是一定的，这个平均值便称为平均自由程。单一气体分子的平均自由程的计算公式为：

$$\lambda = 2.331 \times 10^{-20} \frac{T}{p\sigma^2} \text{ (cm)}$$

式中： λ 为平均自由程 (cm)； T 为气体的绝对温度 (K)； p 为气体的压强 (Torr)； σ 为气体分子直径 (cm)。

从式中可以看出，当温度一定时，平均自由程 λ 与压强 p 的乘积为一常数，即 λ 与 p 成反比关系。压力降低，碰撞机会减少，平均自由程增大。因此，在低压下，气体的扩散非常迅速。气体分子的平均自由程 λ 大于导管截面最大线性尺寸时，气体分子与导管壁的碰撞也将多于气体分子相互间的碰撞，这种气体分子的流动称为分子流。如果平均自由程 λ 小于导管截面最大线性尺寸，则气体分子相互之间的碰撞将多于气体分子与管壁的碰撞，这种气体分子流动称为黏滞流。

三、固体的吸气和放气

在大气状态或低真空区域内，固体与气体接触时，在固体表面及内部都会吸气，在高真空区域内，被吸收或吸附的气体又会部分或全部地逐渐释放出来。在真空技术中，这种吸气和放气现象不仅关系到真空的获得与保持，而且还影响到真空测量结果的准确性和可靠性，因此，了解和掌握这种现象是很重要的。固体吸气有两种情况：一种是固体表面吸气，称为吸附，另一种是固体内部吸气，称为吸收。吸附、吸收的综合作用统称为收附。固体放气即收附的逆过程称为解吸。

1. 收附

(1) 吸附。众所周知，固体内部分子之间有着比较强的结合力。常温下，这些分子是按照一定的排列结合在一起的，形成一定形状的固体结构。在固体内部，每一个分子受到各个方向来的结合力的作用处于平衡状态。但是，处于固体表面分子朝外一个方向的力没有饱和，因此，整个表面布满着向外引伸的吸力，即剩余力场，其作用距离约为一个分子直径。所以，当气体分子

与固体表面碰撞时，就进入其剩余力场的作用范围，使气体分子在固体表面形成吸附。吸附作用主要与下列因素有关：

①固体表面积越大，表面状况越粗糙，其吸附能力越强，特别是带有大量细孔或粉状的材料具有很高的吸附能力。如活性炭、硅胶、活性氧化铝、分子筛、五氧化二磷等；

②吸附力随气体分子与固体表面距离增加而迅速减小，因此，一般吸附层仅为一单分子层。当温度低于气体临界温度时，会出现吸附着多层气体分子组成的气体薄膜。此外，具有大量微孔的材料在低压强下也能产生多分子层吸附；

③在温度不变以及压强较低时，吸附作用随压强的升高而增大，当压强增至一定值时，固体的吸附性能趋于饱和；

④在压强不变时，温度越低吸附量越大；

⑤气体的沸点越低吸附量越小；

⑥在温度一定时，低压强下的吸附时间与压强成反比。

(2) 吸收。气体分子渗入固体内部形成固溶体或产生化学反应形成新的固态化合物，这种现象称为吸收现象。吸收也与气体压强和温度有关，但是，它不像吸附现象那样有着普遍的规律性。

2. 解吸

被固体吸附的气体分子，在一定的条件下，会离开固体重新解吸出来，这就是解吸。解吸的难易程度，与气体的种类和固体材料以及表面状态有关。但总的规律是，在一定的压强下，随着温度增高，解吸作用加快。这是由于每个被吸附的气体分子要从固体表面上解吸出来，必须获得一定的能量，来克服它与固体表面分子间的结合力，这种能量称为解吸热。因此，提高固体材料的温度，使吸附的气体分子获得的能量大于所需的解吸热时，气体分子就被解吸。在较低压强下加热，能加速解吸作用。