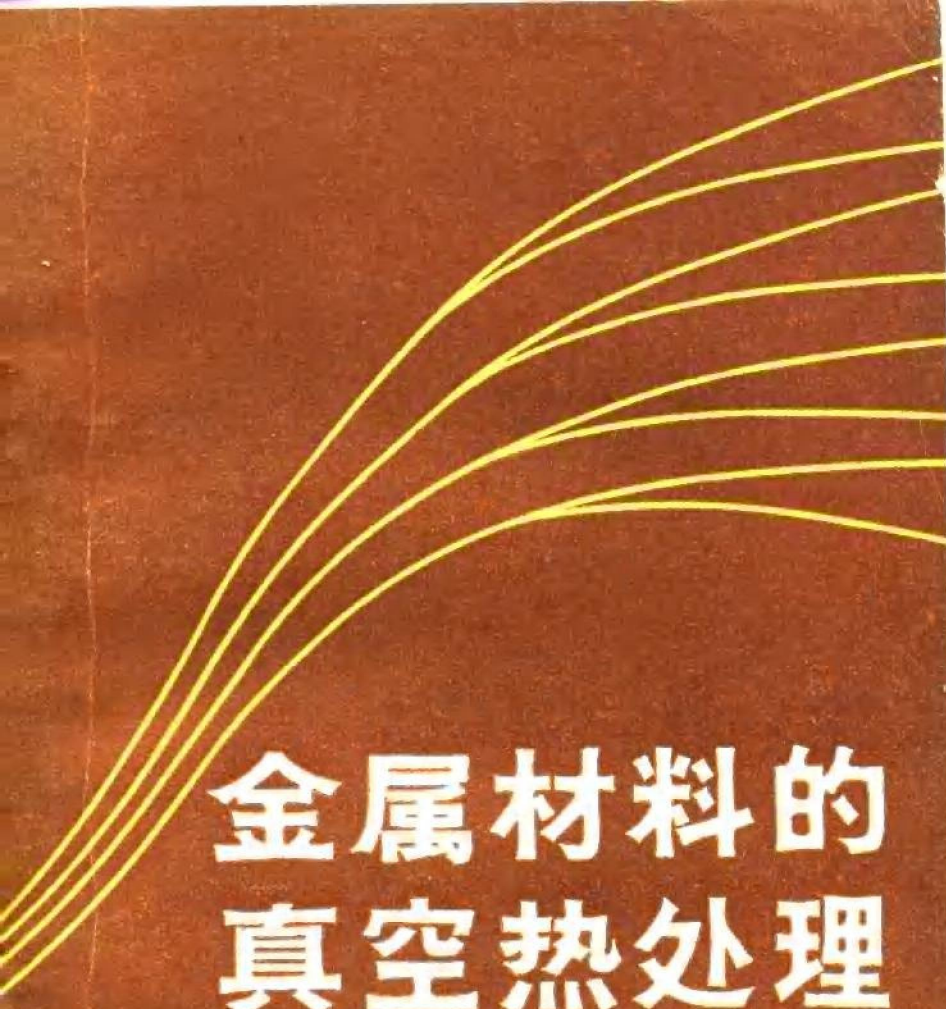




金属材料的热处理

何英介编 上海科学技术出版社

95

金属材料的真空热处理

何英介 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是根据国内外有关文献和资料编写而成。书中比较系统地介绍了金属材料的真空热处理技术,内容包括:真空的概念;真空热处理的基本原理;真空在热处理中的各种应用;各种真空热处理炉子;真空热处理炉和真空系统的设计与计算;有关主要操作工艺;真空检漏等。

本书可供国防、冶金、机械等工业部门从事热处理、工业炉以及压力加工等工作的生产、设计、科研技术人员参考阅读。

金属材料的真空热处理

何 英 介 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 江苏省如皋印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 11.625 字数 255,000

1981 年 3 月第 1 版 1981 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—7,500

书号: 15119·2092 定价: (科四) 1.10 元

前 言

近十多年来,随着核技术、空间技术等尖端技术的迅速发展,对金属材料提出了越来越高的要求。而要达到这些要求,往往需要对材料进行真空热处理。可以说,发展真空热处理技术已经是发展现代科学技术必须解决的一个重要课题。国外有人预料,真空热处理将取代可控气氛热处理和盐浴热处理。

前几年本人在《金属材料的光亮热处理》一书中曾专题介绍过真空热处理,但内容嫌太简单,远不能满足从事这方面工作的读者的需要。本书即是以该书真空热处理部分为基础,广为搜集国内外有关资料,进一步增补充实而编成的,期望本书能为发展我国的真空热处理技术作出微薄的贡献。

本书在编写过程中,曾得到裴先白、廉书祯、桂立丰、谷淑珍、秦宗广、傅光明、于振家、罗英、张奇、陆宝根、何步良、陶守川、吴明义、王鸿骐等同志的热情鼓励、支持和帮助,在此谨表示衷心的感谢。

由于本人水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

何英介 1978年12月于上海

目 录

第一章 真空的概念	1
§ 1 大气压力	1
§ 2 真空	1
§ 3 真空的单位	3
§ 4 真空的划分	6
§ 5 气体的平均速度和平均自由程	8
§ 6 气体量的单位	9
第二章 真空的获得和测量	11
§ 1 抽气的一些定义	11
§ 2 真空泵	11
§ 3 真空计	17
§ 4 关于真空测量的几个问题	21
第三章 真空热处理的基本原理	24
§ 1 真空的保护作用	24
§ 2 清除表面附着物的作用	29
§ 3 脱气作用	32
§ 4 蒸发作用	36
第四章 钛的真空热处理	39
§ 1 钛的性质及用途	39
§ 2 钛的热处理	41
§ 3 供钛及其合金用的真空热处理炉	47
第五章 工具钢的真空热处理	53
§ 1 概述	53
§ 2 工具钢真空热处理的特性	54

§ 3	工具钢进行真空油淬时所产生的耐腐蚀白色层	59
第六章	真空渗碳	66
§ 1	真空渗碳的工艺控制	66
§ 2	真空渗碳的优点	72
第七章	真空离子渗碳	74
§ 1	真空离子渗碳的原理	74
§ 2	真空离子渗碳的工艺特点	76
§ 3	真空离子渗碳的优点	77
第八章	离子氮化	80
§ 1	离子氮化的原理	80
§ 2	离子氮化的优点	84
§ 3	离子氮化法今后的课题	97
第九章	真空在热处理中的其他应用	99
第十章	真空淬火油	124
§ 1	真空淬火油的种类及特性	124
§ 2	真空淬火油的临界压力	125
§ 3	真空淬火油同普通淬火油及矿物油的比较	127
§ 4	闪点、淬透层深度值与临界压力之间的关系	131
第十一章	各种真空热处理设备	133
§ 1	整筒式真空热处理炉	133
§ 2	铜丝罩式真空热处理设备	134
§ 3	惰性真空热处理炉	137
§ 4	升降式真空热处理炉	142
§ 5	料箱式真空热处理炉	147
§ 6	立式真空热处理炉	149
§ 7	连续式多段高真空热处理炉	151
§ 8	CKB-5132 型连续式真空热处理炉	153
§ 9	半连续式管材真空热处理炉	153
§ 10	合金丝材连续式真空热处理炉	155

§ 11	真空冷壁管材退火炉	159
§ 12	用电子束加热的连续式退火炉	161
§ 13	苏制无惰性高真空热处理炉	162
§ 14	美制无惰性高真空热处理炉	164
§ 15	冷罐式(或内热元件式)真空热处理炉	166
§ 16	冷却室冷却型真空热处理炉	167
§ 17	真空渗碳炉	168
§ 18	离子氮化炉	174
§ 19	真空离子渗碳炉	176
第十二章	真空热处理炉的炉温及其测量	178
§ 1	真空热处理炉的升温与冷却	178
§ 2	真空热处理炉内的温度分布	183
§ 3	真空热处理炉内的温度测量	186
第十三章	真空热处理炉设计的主要技术要求	188
§ 1	真空热处理炉设计时所要求的主要参数	188
§ 2	真空热处理炉设计的主要技术要求	189
§ 3	真空热处理炉的试验	191
第十四章	真空热处理炉几个主要部件的讨论	199
§ 1	电加热器	199
§ 2	炉衬	232
§ 3	炉壳	244
第十五章	辐射屏式真空热处理炉的热工计算	252
§ 1	通过多层金属辐射屏总热损失的计算	252
§ 2	导热辐射系数的计算	253
§ 3	炉壳用冷却水消耗量的计算	254
§ 4	计算例题	259
第十六章	真空系统的设计与计算	263
§ 1	炉子真空系统设计的基本要求	263
§ 2	炉子一般采用的真空系统	263

§ 3 炉子真空系统布置应考虑的几个主要问题	266
§ 4 炉子真空系统的计算	267
§ 5 炉子真空系统计算举例	278
第十七章 真空系统所用的材料及配件	282
§ 1 真空管道结构材料	282
§ 2 真空管道的焊接方法	282
§ 3 真空油脂	283
§ 4 真空配件	284
第十八章 真空热处理炉的有关操作问题	297
§ 1 真空热处理(退火)的操作工艺流程	297
§ 2 真空设备使用注意事项	299
§ 3 旋转机械真空泵及油蒸气扩散泵的主要故障及其消除方法	300
§ 4 真空度抽不上去的原因	302
§ 5 真空热处理炉操作的真空卫生要求	305
§ 6 油封旋转机械真空泵的操作	305
第十九章 真空检漏技术	308
§ 1 概述	308
§ 2 真空检漏的一般问题	309
§ 3 真空检漏原理	313
§ 4 质谱检漏仪	321
§ 5 一些主要的简易检漏法	326
附录 1 国内外钢号对照表	336
附录 2 A 系列工具钢的真空淬火和真空回火参数	348
附录 3 D 系列工具钢的真空淬火和真空回火参数	348
附录 4 H 系列铬基工具钢的真空淬火和真空回火参数	349
附录 5 H 系列钨和钼基工具钢真空淬火和真空回火参数	350
附录 6 T 和 M 系列高速钢真空淬火和真空回火参数	351
附录 7 软磁合金真空热处理炉的技术规格	352

附录 8	美英法航空部件部分真空热处理炉的主要技术性能·····	353
附录 9	苏联半连续式超高真空热处理炉的主要参数·····	355
附录 10	苏联周期式超高真空热处理炉的主要参数 ·····	356
附录 11	国外有关公司生产的真空淬火炉的比较 ·····	357
附录 12	日本内热式真空热处理炉的一些参数 ·····	358
附录 13	我国部分真空热处理炉产品 ·····	359
附录 14	真空加热时氧化程度的测定 ·····	361

第一章 真空的概念

§1 大气压力

多少年来,人们生活在空气中,而空气一般被认为是一种无色、无臭、无味的气体,直接看不见,摸不着,好象是空的,我们可以任意地在空气中自由往来,并不感到有什么阻碍.因此,气体的压力性质,在过去很长的时间内一直被人们所忽略.早在三百多年以前,在意大利有人挖了一口约 15 米深的水井,可是没法用一般的唧筒把水吸出来.对于这个问题,当时著名的科学家伽利略作了这样一个假设:空气也许是具有重量的.这个假设后来被他的学生托里拆利所证实.

地球周围的大气层是上疏下密,在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 16 公里厚.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 1.0332 公斤,相当于 760 毫米汞柱在同样面积上的压力.我们通常把这个压力叫做“标准大气压”.

§2 真 空

有些人把“真空”理解为“没有东西”的空间,这是非常错误的.真空,严格地说,只是压力小于常压的任何气态空间.完全没有任何物质的“绝对真空”是不存在的.

现在已经知道,离地面 800 公里高处气态物质的压强为

10^{-9} 毛数量级, 离地面 2100 公里高处为 10^{-11} 毛数量级, 月球上为 10^{-13} 毛数量级, 内星际空间估计为 10^{-16} 毛数量级.

在压力为 1 个大气压, 温度为 273K 时, 根据罗斯密特常数, 1 厘米³ 的任何气体所含的分子数为 2.683×10^{19} 个, 或者如下式表示:

每立方厘米气体的分子数

$$N = 9.7 \times 10^{18} \frac{P}{T}$$

式中 P ——压力(毛);

T ——绝对温度(K).

这样, 在普通室温下, 如果

$$P = 10^{-8} \text{ 毛}, N > 3 \times 10^8 \text{ 个};$$

$$P = 10^{-10} \text{ 毛}, N > 3 \times 10^6 \text{ 个}.$$

可见, 即使在极高的“超高真空”(10^{-10} 毛)的条件下, 每立方厘米的气体分子仍然在 300 万个以上!

气体分子每秒钟碰撞单位面积(1 厘米²)的次数为

$$n = 3.54 \times 10^{22} \frac{P}{\sqrt{MT}}$$

此处 M 为气体的分子量. 这样, 空气在压力为 10^{-8} 毛, 温度为 20°C 时, $n = 3.84 \times 10^{12}$.

所以, 在真空内还有大量的气体分子(不过比平常的空气稀薄得多了), 而且在不断地运动着、作用着, 这和有些人所认为的“没有东西”的空间这种概念是相差很远的.

真空技术发展到今天, 已经能获得 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 毛高真空, 跨入了“极高真空”领域. 这使人们对“真空”的认识又有了新的飞跃的起点.

§ 3 真空的单位

在真空技术中，都采用压强(单位面积上的压力)来表示真空的程度，即以压强单位作为计量真空的单位，但是压强越高表示真空度越低，压强越低则表示真空度越高。

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. 毫米汞柱

这是真空技术中常用的单位。它是指 0°C 时，1 毫米高水银柱作用在单位面积上的力。因为纯水银 0°C 时的比重是 13.5951克/厘米^3 ，所以 $1\text{毫米汞柱} = 13.5951\text{克/厘米}^2$ 。

历史上曾经把北纬 45° 度海平面的大气压定为一个物理标准大气压，它是 760 毫米汞柱。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，这样的标准当然不够严格。因此，目前把 1 个国际物理标准大气压固定为如下数值：

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

这是把 760 毫米汞柱，根据 0°C 时水银的比重为 13.5951克/厘米^3 ，该处的重力加速度为 980.665厘米/秒^2 ，换算出来并省略尾数而制订的。因此，它已不完全等于 760 毫米汞柱。

2. 托(torr)

托是真空技术中最常用的单位，其定义为：

$$1\text{托} = \frac{1}{760}\text{国际标准大气压(atm)}$$

1 毫米汞柱与 1 托本来是一回事，但由于前述标准大气压的新定义，目前这两个单位之间有了大约 10^{-7} 数量级的微

小差异。不过由于差异极小,习惯上仍然把它们等同看待。

3. 微巴

在厘米-克-秒绝对单位制中,其基本单位为达因/厘米²。

$$1 \text{ 微巴} (\mu\text{bar}) = 1 \text{ 达因/厘米}^2 = 7.5006 \times 10^{-4} \text{ 托}$$

4. 帕斯卡(Pascal)

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-公斤-秒制),简称“帕”,其符号为 Pa, 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“托”等压强单位。所以在近年一些真空技术文献中已有采用“帕”为单位的。

由于国际单位制属于协和单位制(又称相参单位制,协合单位制;是指其导出单位的定义方程式中的比例系数都取为 1 的单位制),所以“帕”为一协和导出单位。这样的单位与其他学科的公式进行换算变得最简单,也可消除一个量多种单位的现象,便于书写、阅读和计算。例如“托”由于不属于协和单位,而不得不在真空技术中增加“托·升/秒”这一流量单位。如果采用国际单位制,则流量单位可直接用“瓦”或“毫瓦”等来表示,而不必增加使用单位,阅读也方便。国际单位制的推行最后也就能达到全国范围计量制度的统一,这对真空计量来说是不得不考虑的一种趋势。

本书为了照顾原有传统习惯,仍采用“托”来叙述。但应指出,要过渡到采用“帕”作为真空的压强计量单位,看来只是时间上的问题了。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 帕} (\text{Pa}) &= 1 \text{ 牛顿/米}^2 = 1 \text{ 千克/米} \cdot \text{秒}^2 \\ &= 10 \text{ 达因/厘米}^2 = 7.5006 \times 10^{-3} \text{ 托} \end{aligned}$$

5. 工程大气压(公斤/厘米²)

由于大气压强约为 1 公斤/厘米²,所以把 1 公斤/厘米²

表 1-1 压强单位换算表

	帕 (Pa)	毛 (Torr)	微 巴 (μ ba)	物理大气压 (atm)	工程大气压 (kg/cm ²)	英寸汞柱 (inchHg)	普 西 (Psi)
1 帕	1	7.5006×10^{-3}	10	9.869×10^{-6}	1.0197×10^{-5}	2.9530×10^{-4}	1.4503×10^{-4}
1 毛	1.3332×10^2	1	1.3332×10^3	1.3158×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	3.9370×10^{-2}	1.9337×10^{-2}
1 微巴	10^{-1}	7.5006×10^{-4}	1	9.8692×10^{-7}	1.0197×10^{-6}	2.9530×10^{-5}	1.4503×10^{-5}
1 物理 大气压	1.0133×10^5	760.00	1.0133×10^6	1	1.0332	29.921	14.695
1 工 程 大气压	9.8067×10^4	735.56	9.8067×10^5	9.6784×10^{-1}	1	28.959	14.223
1 英 寸 汞 柱	3.3864×10^3	25.400	3.3864×10^4	3.3421×10^{-2}	3.4532×10^{-2}	1	0.49115
1 普西	6.8948×10^3	51.715	6.8948×10^4	6.8046×10^{-2}	7.0307×10^{-2}	2.0360	1

称为工程大气压。

$$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 735.56 \text{ 毛}$$

6. 英制单位

英制的单位有英寸汞柱(inchHg)和普西(Psi, 磅/英寸²)两种。

7. 用真空度的百分数来表示的工程热力学单位

它一般只是在压强高于 1 毛时才采用。

$$\delta = \frac{760 - P}{760} \times 100\%$$

例如：当压强为 760 毛时， $\delta = 0$ ；压强为 8 毛时， $\delta = 99\%$ 。

各压强单位之间的换算见表 1-1。

§ 4 真空的划分

前面谈了量度真空的单位，这里就可以定量表示真空度的高低。为实用方便起见，人们还常定性地把真空度划为几个区域。主要根据下述特点来划分：

(1) 真空技术应用的特点：象利用压力差效应的真空输送、过滤、成型，加速蒸发过程的真空浓缩，一般有 10 毛以上的真空度就够了；真空干燥，冷冻干燥，真空浸渍需数毛到 10^{-3} 毛；真空蒸馏和分子蒸馏，民用灯泡，热水瓶需要 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ 毛的真空度；在大多数真空热处理过程中，需要的真空度一般是 $1 \sim 10^{-6}$ 毛；真空冶炼需要的真空度一般是 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 毛；电真空器件、半导体材料制备以及原子能加速器需要的真空度一般是 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ 毛；如此等等。所以不同的真空范围有它不同的应用特点。

(2) 真空物理特性：随着真空度提高，气体变稀薄，气体

运动的物理特性就会逐渐起变化，当达到某一阶段时就要由量变引起质变。

(3) 常用的真空泵和真空计的有效范围：真空泵和真空计的种类繁多，一般最常用的是机械泵、扩散泵、热阴极电离真空计、热传导真空计等等。

目前各国对真空的划分是不一致的，随着真空技术的发展也有所变化。近年来国外对真空区域的划分如表 1-2 所示。根据此表，大致有如下趋势：

低真空(粗)	$760\sim 1(10)$ 托
中真空(精)	$1(10)\sim 10^{-3}$ 托
高真空	$10^{-3}\sim 10^{-7}(10^{-8})$ 托
超高真空	$<10^{-7}\sim 10^{-8}$ 托

或

高真空	$10^{-3}\sim 10^{-6}$ 托
甚高真空	$10^{-6}\sim 10^{-9}$ 托
超高真空	$<10^{-9}$ 托

过去曾经只划粗、中、高、超高四个区域，由于近年来真空技术的发展，有人嫌超高真空的区段太宽，所以又把原来的高、超高两段改为高、甚高、超高三个区域。个别的人还引入极高真空这一名称。

在我国，根据气压的不同程度，在工业实际使用中，特别是在冶金工业中，我们一般只把真空划分为三个区域：

低真空	$10\sim 10^{-2}$ 托
中真空	$10^{-2}\sim 10^{-4}$ 托
高真空	$10^{-5}\sim 10^{-7}$ 托

在此应指出，在其他领域，还引用超高真空($10^{-8}\sim 10^{-14}$ 托)以及极高真空($<10^{-14}$ 托)。

目前,在大多数真空热处理的过程中,所采用的真空度一般在 $1\sim 10^{-6}$ 托范围内。

表 1-2 各国真空区域的习惯划分方法

美 国 (1963~1972)	英 国 (1961~1963)	法 国 (1965)	日 本 (1964~1965)	苏 联 (1971)	德 国 (1961~1965)
低 760~10(25) 粗 760~1	粗 760~1	粗 760~1	低 760~1	低 760~10	粗 760~1
中 10(或 25)~ 10 ⁻³	中 1~10 ⁻³	精 1~10 ⁻³	中 1~10 ⁻³	中 10~10 ⁻³	精 1~10 ⁻³
高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁶	高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁷	高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁷ (或 10 ⁻⁸)	高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁷ (或 10 ⁻⁹)	高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁷	高 10 ⁻³ ~10 ⁻⁶
甚高 10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁹ 超高 <10 ⁻⁹	超高 <10 ⁻⁷	超高 <10 ⁻⁸ (或 10 ⁻⁹)	超高 <10 ⁻⁷ (或 10 ⁻⁹)	超高 <10 ⁻⁷	甚高 10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁹ 超高或极高 <10 ⁻⁹

§ 5 气体的平均速度和平均自由程

根据气体分子运动学，气体是许多自由运动分子的聚集体。在 0℃ 和 1 个大气压的条件下，1 克分子的任何气体都占有 22.4 升的体积，由 6.03×10^{23} 个分子所组成。这么多的气体分子来回运动，其速度是随分子的不同而异的。但在稳定状态下，往往符合一定的速度分布规律，即所谓玻耳兹曼分布规则。在这种情况下，其平均速度 $v_{平均}$ 可用下式表示：

$$v_{平均}=\sqrt{8RT/\pi M}=1455\times \sqrt{T/M}\text{ 厘米/秒}$$

式中 R ——气体常数；
 T ——气体绝对温度(K)；