

# 热处理译文集

(四)

《真空热处理》专辑

上海市机械制造工艺研究所

一九七八年一月

---

# 目 录

|                    |      |
|--------------------|------|
| 1.真空热处理工艺          | (1)  |
| 2.五十年来真空炉的进展       | (20) |
| 3.现代的真空热处理         | (28) |
| 4.真空炉用于热处理的经验      | (34) |
| 5.热处理炉             | (40) |
| 6.真空淬火炉的装出料装置      | (46) |
| 7.真空炉用哪种材料、热屏、加热元件 | (50) |
| 8.夹紧在汇流排上的石墨布加热元件  | (53) |
| 9.真空热处理炉           | (56) |
| 10.真空渗碳方法          | (60) |
| 11.真空渗碳            | (71) |
| 12.从气体渗碳到真空渗碳      | (78) |

---

# 真 空 热 处 理 工 艺

T.Bell

在热处理工程师中间流行着一种看法：即在真空炉中的热处理方法，严格地说还处于实验室阶段。作者想强调下述情况：甚至在早期，当时的真空炉在操作上和许多情况中，相当肯定地能得到显著的工艺上和经济上的好处。这些好处不仅由于最终产品的清洁，高质量和可靠性，而且还由于能够减少或者省掉其它的加工过程，如热处理后的精整操作。

在本文中，将提到各种各样的真空炉，虽然不可能在有限的篇幅中讨论设计和有关辅助设备的细节。然而，认识到下述观点是重要的：即为了适合各公司的特殊要求，真空炉的选择，在某种程度，必须以炉子制造厂所提供的详细技术资料作为依据。当选择真空炉时，还应收集不易获得的进一步的资料，如运转费用，炉子利用率，停工期和维修问题这样一类有关资料。各种供选用的炉子的基本费用差别颇大，此费用同样也必须和上述特色的估计费用放在一起加以权衡。

## 一、真 空 原 理

如果热处理工程师要考虑在真空炉中进行热处理的可能性。就必需了解某些简单而又重要的真空工艺原理。本节将讨论某些真空工艺原理和术语。

真空被定义为这样一种状态，它存在于一个完全密闭的空间中，其中所有的气体和蒸汽均已被移走。因为没有找到一种方法可得到完全真空，只能用所得到的部分真空的程度来加以描写。这种部分真空的水平，表示对于大气压的一种确定的关系。同热处理实践有关的真空工艺通常有四个真空级别。这些划分是有些随意的，四个真空级别与其相应的压力范围一起列于表 1。

| 表 1         | 真 空 范 围                       |
|-------------|-------------------------------|
| 粗 真 空 (RV)  | 760—1 毫                       |
| 中 真 空 (MV)  | 1— $10^{-3}$ 毫                |
| 高 真 空 (HV)  | $10^{-3}$ — $10^{-7}$ 毫       |
| 超 真 空 (VHV) | $10^{-7}$ 毫 和 低 于 $10^{-7}$ 毫 |

表 1 中的压强单位“毫”已得到国际公认，作为一个标准术语，它相应于 0℃ 时平衡高度为 1 毫米汞柱的气体压强，因为标准大气压能平衡 760 毫米高度的汞柱。所以 1

大气压等于760 $\tau$ 。在大多数欧洲国家通用的压强的科学单位是牛顿/平方米 ( $\text{Nm}^{-2}$ ) 本文只用“ $\tau$ ”作为压强单位，然而可通过表2来换算所有其它一般采用的压强单位。

气体动力学理论的定律已确立了如下关系：在一定容积系统中的气体压力 $P$ ，气体分子数 $n$ ，绝对温度 $T$ 三者间有下列方程所示的关系：

$$P = nKT$$

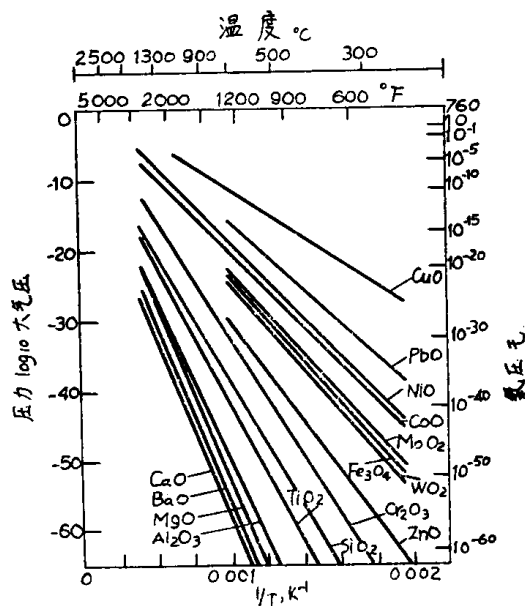
其中 $K$ 是玻耳兹曼常数，因此，在一定温度下，气体的压力决定于各组成气体颗粒总数，而和组成气体的性质无关。各真空炉抽气系统的主要作用是减少一定容积中气体或蒸汽颗粒，在温度一定时，通过降低压力来达到这点。在760 $\tau$ 压强下，每立方米容积中存在约 $2.7 \times 10^{18}$ 个气体分子，如果压强降至 $10^{-3}\tau$ ，则每立方米中还有约 $3.5 \times 10^{13}$ 个残留气体分子。

在技术文献中，时常把真空一词叫做“低压气氛”或“负压气氛”。在上面讨论的基础上，当考虑部分真空的行为时，简单地把部分真空视为一种气压低于大气压的一种气相介质，似乎较有意义。在部分真空情况下，真空炉如同普通的炉子一样，按照道尔顿定律，其所含各气体分压的总和应等于炉子的总压力。而决定该气相介质在任何情况下的实用性的，是污染物蒸汽，活性组分和中性气体的不同的百分率。所含这些气体和蒸汽的相对百分率是许多特性的复杂函数，其中不仅包括所研究的材料和工艺，而且还包括炉子和辅助设备的物理化学特性。例如，在一只现代的清洁的原来存有空气的真空炉中，当压力为 $10^{-3}\tau$ 时，其气氛中一般可能含有70%左右的水蒸汽，其余为系统中一些部件（即密封，油脂和油<sup>[1]</sup>）产生的有机物蒸汽，现在通过在炉内安装质谱仪，可以连续地记录这些残留气体的含量。

因为残留组分（如水蒸汽）和由于炉子漏气，以及合金元素的蒸发所引起的进一步的污染因素，可能是活性的，所以必须对处理材料的氧化特性和蒸汽压特性两者均加以仔细考虑。

### （一）氧化物的分解压力

理查森<sup>[2]</sup>图用来定量地描写在气相环境中，各种纯金属氧化倾向与气相环境氧分压的函数关系，在图1中提出了一系列金属氧化物的分解压力与温度的函数关系。在一定温度下，可以找到一个点，它的压力相应于任一气氛氧分压；如金属氧化物分解压力低于该点时，则金属在此气氛中能氧化，而高于此点的那些金属则不能氧化。当考虑惰性气体气氛所含有的分压造成的氧化特性时，这些图是极宝贵的，可惜，当考虑由抽真空所产生的负压环境时，它们的使用受到某些限制，然而，对于了解能够引起氧化的氧分压的大



（图1）金属氧化物的分解压力和温度的关系

表 2 压强单位的换算

| 单 位                                          | 毫<br>(毫米汞柱)            | 微 米                 | 牛 顿/米 <sup>2</sup><br>(帕斯卡) | 达 因/厘米 <sup>2</sup><br>(微巴) | 毫 巴                    | 巴                      | 大 气 压                  | 时 汞 柱                  | 磅/时 <sup>2</sup>       |
|----------------------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 毫 = 1 毫米汞柱                                 | 1                      | $1 \times 10^3$     | $1.333 \times 10^2$         | $1.333 \times 10^3$         | 1.333                  | $1.333 \times 10^{-3}$ | $1.316 \times 10^{-3}$ | $3.937 \times 10^{-2}$ | $1.934 \times 10^{-2}$ |
| 1 微米                                         | $1 \times 10^{-3}$     | 1                   | 0.1333                      | 1.333                       | $1.333 \times 10^{-3}$ | $1.333 \times 10^{-6}$ | $1.316 \times 10^{-6}$ | $3.937 \times 10^{-5}$ | $1.934 \times 10^{-6}$ |
| 1 牛 顿/米 <sup>2</sup><br>= 1 帕斯卡              | $7.5 \times 10^{-3}$   | 7.5                 | 1                           | 10                          | $1 \times 10^{-2}$     | $1 \times 10^{-5}$     | $9.87 \times 10^{-6}$  | $2.95 \times 10^{-4}$  | $1.45 \times 10^{-4}$  |
| 1 达 因/厘米 <sup>2</sup><br>= 1 微巴              | $7.5 \times 10^{-4}$   | 0.75                | 0.1                         | 1                           | $1 \times 10^{-3}$     | $1 \times 10^{-6}$     | $9.87 \times 10^{-7}$  | $2.95 \times 10^{-5}$  | $1.45 \times 10^{-5}$  |
| 1 毫巴                                         | 0.75                   | $7.5 \times 10^2$   | 100                         | 1000                        | 1                      | $1 \times 10^{-3}$     | $9.87 \times 10^{-4}$  | $2.95 \times 10^{-2}$  | $1.45 \times 10^{-2}$  |
| 1 巴                                          | 750                    | $7.5 \times 10^5$   | $1 \times 10^6$             | $1 \times 10^3$             | $1 \times 10^3$        | 1                      | 0.987                  | 29.5                   | 14.5                   |
| 1 公斤/米 <sup>2</sup> *<br>= 1 毫米水柱            | $7.356 \times 10^{-2}$ | 735.6               | 9.81                        | 98.1                        | $9.81 \times 10^{-2}$  | $9.81 \times 10^{-5}$  | $9.68 \times 10^{-5}$  | $2.896 \times 10^{-3}$ | $1.422 \times 10^{-3}$ |
| 1 公斤/厘米 <sup>2</sup> *<br>= 1 大气压<br>(工程大气压) | 735.6                  | $7.356 \times 10^5$ | $9.81 \times 10^4$          | $9.81 \times 10^5$          | 981                    | 0.981                  | 0.968                  | 28.96                  | 14.22                  |
| 1 大气压<br>(物理大气压)                             | 760                    | $7.6 \times 10^5$   | $1.013 \times 10^5$         | $1.013 \times 10^6$         | 1013                   | 1.013                  | 1                      | 29.9                   | 14.7                   |
| 1 吋汞柱                                        | 25.4                   | $2.54 \times 10^4$  | $3.386 \times 10^3$         | $3.386 \times 10^4$         | 33.86                  | $3.386 \times 10^{-2}$ | $3.34 \times 10^{-2}$  | 1                      | 0.491                  |
| 1 磅/时 <sup>2</sup>                           | 51.71                  | $5.171 \times 10^4$ | $6.89 \times 10^3$          | $6.89 \times 10^4$          | 68.9                   | $6.89 \times 10^{-2}$  | $6.8 \times 10^{-2}$   | 2.036                  | 1                      |

\* 已废弃不用

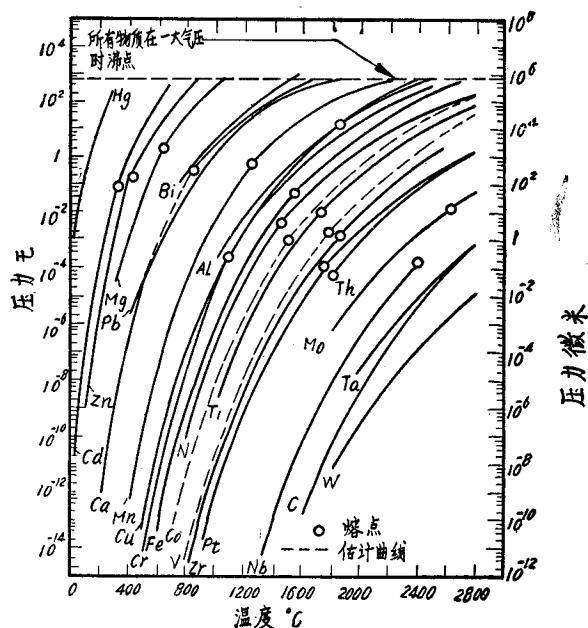
小，它们还能起相当的指导作用。在真空条件下，由于仅能得到有限的氧原子，还必须注意氧化的动力学，所以，即使理查森图中指明会氧化的情况下，当热处理时间不长时，往往不能得到足够数量的氧原子来产生明显的氧化。用不同纯度的铁进行的实验<sup>[3]</sup>，很清楚地说明了上述特点。按照理查森图，纯铁在850℃时在 $10^{-7}$ 托真空度下应氧化，但是大家都知道，在这种热处理后，铁的表面是光亮而清洁的。用电子显微镜研究经此试验后的铁试样，表明了理查森图的正确性。因为在试样上看到已发生了一些氧化，但由于所能得到的氧原子量有限，产生氧化层的总量受到限制。在同类试验中，还做了对钢热处理特别有意义的进一步观察。发现在固溶体中含有碳的较不纯的铁比高纯铁氧化得少。这是由于固溶体中含有的碳，发生反应形成 $\text{CO}_2$ （它不断地被抽走）而造成的。因而，正是主要由于上述原因，当在中等水平的真空中进行真空退火时，使已氧化的铁碳合金变成光亮。如果炉子的漏气率很大时，此机理还说明，即使对于光亮部件也能发生脱碳的原因。

## （二）蒸汽压

当使用真空热处理炉时，另一必须考虑的因素是炉子结构材料和被处理材料二者的蒸汽压/温度特性。图2中图示了许多纯金属蒸汽压/温度特性曲线。

从上面这些曲线中，可看到：在温度为1000℃真空度为 $10^{-5}$ 托时，铬将蒸发，所以，当温度超过1000℃时用铬作加热元件或真空炉结构部件是不合适的。同样，如果将纯锰加热到825℃则蒸汽压达 $10^{-4}$ 托，所以理论上在所有的锰没有蒸发掉之前，将不可能抽到更低的压力。然而，当锰或其它合金元素固溶在铁中时，他们的有效蒸汽压依据其在合金中的含量而降低到某一程度。虽然如此，蒸发的倾向都还存在，因而处理这些合金时应加以注意。在实践中，通过小心地控制热处理周期，特别是蒸发最容易发生的高温停留时间，限制蒸发所引起的合金元素丧失是可能的。

各种物质在1大气压下的沸点



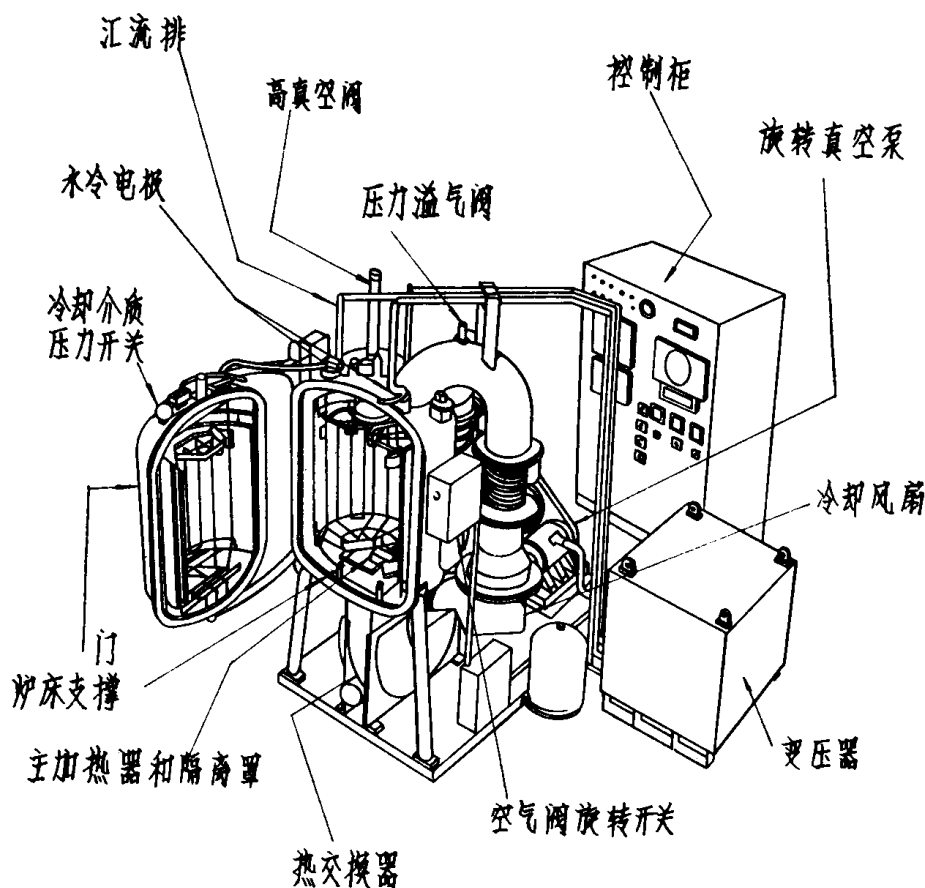
（图2）各种纯金属蒸汽压的特性

## 二、真空热处理工艺和设备的分类

在1960年以前，用真空设备进行的唯一重要的冶金热处理操作，是用热壁式炉子进

行铜丝和铜带的退火。在很大的程度上，由于工业冷壁式炉子的引入，从那时起，应用的数量大大增加，并多样化了。这些炉子的热惰性相当低，已可能用气冷系统从热处理温度迅速冷却。

在这种类型的机组中，炉子本身起一个真空密封室作用，炉子的外表面或者用环绕的冷却水管，或者用完全的水冷套进行水冷。炉子加热系统和绝热装置装置在密封室内，这大大扩大了加热元件和绝热材料的选择范围。通常所用的加热元件材料是钼、钨、钽或石墨。绝热装置是由人造的材料如铝硅酸盐，石墨，碳毡织物，或者这些材料的结合体装备起来的，还有用象不锈钢和铝一类材料的辐射屏装备起来。虽然有一些类型的冷壁式炉子适合于750℃和更低温度的热处理中。但冷壁式炉子在工业上主要用于900~1350℃范围内。在图3中列出了一只典型的气淬冷壁式真空炉和其辅助装置的示意图。其上标有文字加以说明。



(图3) 典型的气淬冷壁真空炉及其辅助设备的示意图

由于在冷壁炉中，能从热处理温度进行油淬，近来使冷壁式真空炉的应用范围进一步扩大。在真空炉中进行的多种多样的热处理操作，往往用一个一般的表达方式“真空热处理”来加以描述，但这有点不够精确，且不能向已熟悉普通的盐浴和控制气氛操作的工程师们传达真空热处理可能承担的实际过程。所有这些工艺的基本科学特性之分析表明：他们可以容易地分为二类<sup>[4]</sup>。

(1) 热处理: ——打算让这类热处理包括下列热处理操作, 它通常是为了改变晶粒结构和为了产生某些要求的性能而在金属上进行的, 包括各种型式的退火, 烧结, 脱气, 淬火, 回火和沉淀硬化。

(2) 化学热处理: ——此类包括在真空炉中进行的那些工艺, 它除了热处理外, 还包括在负压的活性气体介质中, 在工程部件的表面进行增碳或增氮。这些处理中, 刚达到工业规模的有渗碳和碳氮共渗工艺。

许多公司曾致力于用“辉光放电”这个完全不同的方法来进行真空或负压下热处理过程。这些“辉光放电”方法对热处理和化学热处理两者均能适用。尤其适用于烧结和氮化操作。例如, 在氮化处理时, 通常在氢和氮的气氛中, 压力为  $1 \sim 10 \text{ mmHg}$ , 将工件作电路的阴极, 并使工件受到外加的临界电压所产生的“辉光放电”。所加的电场使气体混合物电离, 并造成氮离子轰击工件表面, 以致产生热, 于是活性的新生态的氮就扩散进钢的表面。通过调节适当的电压和气体压力能够控制工件的温度, 另一方面可通过调节气体的成份来控制“氮位”。这些受到广泛专利保护的“辉光放电”处理, 新近已在别的文章中评述过<sup>[5], [6]</sup>, 所以本文中不进一步加以讨论了。

### 三、热 处 理

#### (一) 导论

前面一节中所列举的所有热处理方法是目前已确认的方法。然而, 着手进行这些处理的程度在各个国家, 各个工业部门间都变化很大。在某些场合, 这些处理已进行了十多年, 显然, 在许多情况下必已取得重大的技术上和经济上的利益。详细地论证这些相对于其它热处理方法经济上的优点是是不可能的, 因为关键在于各公司的特点和要求。然而, 一些要点Reynoldson曾扼要地讨论过<sup>[7]</sup>。

真空热处理的主要优点也许是设备使用方便, 加工经济, 使用安全。此外, 有人报导的关于真空热处理较盐浴或可控气氛有利的特殊的优点的数目常常是使人惊奇的。不管是全部上述原因都起作用, 还是在特殊的一系列情况下, 某一因素占优势足以证明用真空炉是正确的, 均在很大的程度上依赖于热处理工程师的判断。然而, 这些优点, 对照可能的缺点, 在初步考虑真空炉的使用问题时, 可以作为一个有用的出发点。所以把它们列于表3和表4。在此处不打算进一步讨论这些优点, 但下面描述在真空炉中进行的工艺时, 如果适当的话, 将参考它们。

有许多种立式的和卧式的真空炉用于热处理, 各式的例子可由图4和图5看到。

(图略去) 卧式炉可以是单室的也可以是多室的, 目前已有的卧式真空热处理炉其装炉量从几公斤到100吨。

#### (二) 退火

退火和固溶处理主要用来软化材料, 去除内应力和改变晶粒结构。这些操作是通过先加热到所需的温度, 再在此温度保持足以进行所需转变的时间, 随后按预定的速度冷却。对于每种实际情况必须确定各自不同特点的退火周期, 但在下列各节中, 对于特殊的材料, 在可能的地方, 指出一些准则。在真空炉中进行退火的决心, 除了那些冶金学



表3 已报道的真空热处理炉与保护气氛炉，盐浴三者优点之比较

| 真 空 炉 (所有类型)                                                                                                                                                                                                                                      | 保 护 气 氛 炉 子                         | 盐 浴                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|
| (1) 容易维持非常纯洁的环境<br>(2) 性能稳定<br>(3) 改变所需的环境显得很迅速<br>(4) 操作方便<br>(5) 维修迅速<br>(6) 自动清浄被密封的容积<br>(7) 除去挥发性和吸附的气体<br>(8) 可能改进表面光洁度<br>(9) 炉料加热均匀和变形少<br>(10) 加热迅速<br>(11) 无爆炸危险<br>(12) 冷壁型炉子不需备用电源<br>(13) 操作温度能达到3000℃<br>(14) 操作灵活性强<br>(15) 清浄时间极短 | (1) 和真空比起来其成本较低<br>(2) 使用还原性气来除去氧化物 | (1) 成本较低<br>(2) 简单<br>(3) 操作方便<br>(4) 加热非常快速和均匀 |

表4 已报导的真空热处理炉与保护气氛炉，盐浴三者缺点之比较

| 真空炉 (所有类型)                                            | 保 护 气 氛 炉 子                                                                                                                                                                                             | 盐 浴                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 基本投资最高<br>(2) 对气硬钢需另行供应淬火气体<br>(3) 只有周期作业型炉子 (注二) | (1) 气氛纯度不如真空好<br>(2) 气氛纯度难于维持<br>(3) 气氛成本可能是高的<br>(4) 制造气氛之设备较复杂<br>(5) 高温维持费用高<br>(6) 有爆炸危险性<br>(7) 被密封的容积难于清浄<br>(8) 靠气体流动不能全部去掉挥发物<br>(9) 对烧煤气的炉子需要烟道<br>(10) 在许多场合下热处理后需酸洗<br>(11) 对某些材料保护气体气氛不适宜使用 | (1) 表面光洁度较真空或保护气氛炉差<br>(2) 工件带出的盐化费费用<br>(3) 需要排除扩散出来的盐之设备<br>(4) 不易从工件上除去盐，因而随后产生腐蚀问题<br>(5) 有盐爆溅的危险性<br>(6) 能够处理的材料有限制<br>(7) 漏盐问题 |

(注二) 1976年已有有关连续作业真空炉之报道 ——译者注

角度认为必须的情况以外，主要取决于和可控气氛热处理比起来，它所能达到的清净度和高质量的表面光洁度的情况。

### (1) 难熔金属

冷壁真空炉最早应用部门之一，是在飞机和宇航工业中作难熔金属和合金的退火和去应力。这些材料在高温时容易氧化，因而如果要达到合乎要求的性能，实际上必须在中等到高真空条件下处理。难熔金属特别是钽的使用范围现在已扩展到电子工业中去了。在那里用于生产电容器和发射管的阳极和阴极。当生产电灯灯丝时，目前是把钨丝在 $10^{-8}$ — $10^{-4}$  真空度下和高于 $1400^{\circ}\text{C}$ 的温度中进行退火。这些温度较普通的炉子设备所能达到的温度高，且曾使废品量大大减少和灯丝寿命提高。

### (2) 不锈钢和镍基合金

虽然多年来许多品种的不锈钢在低露点的氢气中成功地完成了退火处理。但目前却有大量的，各种各样品种的不锈钢在冷壁型炉内进行退火。不锈钢制件现在常常指定在真空炉中处理，这不仅是因为其成品的清净性好，而且因为其快速的气淬能力，为高生产率创造了条件。例如，几种品种的不锈钢，包括沉淀硬化合金的失腊铸件，在75厘米宽 $\times$ 120厘米长 $\times$ 75厘米高工作尺寸的周期作业真空炉中进行处理，净装料量达230公斤，对这样的装料量，其典型的处理周期为：加热时间为2 $\frac{1}{2}$ 小时，保温1小时，在气体中快冷20分降至 $300^{\circ}\text{C}$ ，然后再需冷2小时冷至环境温度。一般工业应用中，用氮气来淬奥氏体和马氏体不锈钢。用钛稳定化的不锈钢，尤其在原子能和飞机工业应用中，常常用氩气淬。

当不锈钢退火时发生一些铬挥发的现象，但通常其丧失量是不大的。表5列出了一些不锈钢的退火工艺参数。

表5 一些不锈钢的退火参数

| 类 型               | 代表性分析结果%            | 退火温度范围 $^{\circ}\text{C}$ | 真空度范围 $\tau$          |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| 铁 素 体 类           | 12—14Cr, 0.08C (最多) | 630—830                   | $10^{-2}$ — $10^{-3}$ |
| 马 氏 体 类           | 14Cr, 0.4C          | 830—900                   | $10^{-2}$ — $10^{-3}$ |
|                   | 16—18Cr, 0.9C       |                           |                       |
| 奥 氏 体 类<br>(未稳定化) | 18Cr, 8Ni           | 1010—1120                 | $10^{-2}$ — $10^{-3}$ |
| (稳 定 化)           | 18Cr, 8Ni, 1Nb或Ti   | 950—1120                  | $10^{-4}$ — $10^{-5}$ |

高镍合金，特别是沉淀硬化型合金，包括 Inconel718, Rene 4 和 Udimet700特别适于在冷壁真空炉中处理<sup>[8]</sup>。这些材料需从固溶温度快速气淬，以便防止碳化物和金属间化合物过分的沉淀。这些复杂的合金主要用于航空和宇航工业，在那里这些材料的深拉件，冲压件，锻件和铸件用于制造透平翼片，燃烧室，排气管和导弹壳。

### (3) 软磁合金

软磁材料，包括矽钢，广泛用于计算机和高速印刷机元件中，对于它们主要要求产

生最佳的磁学特性。这些磁学特性，导磁率和矫顽力，在一定程度上受退火热处理所产生的冶金显微结构的影响。

Koves<sup>[9]</sup>关于矽钢的研究证明，用真空炉代替可控气氛炉，作软磁材料的退火是完全正确的。他曾将各种常规的还原性气氛，氢气气氛和各种程度的真空对矽钢的磁性能，结构性质，化学性能和力学性能的影响作了比较。结果表明：在 $2 \times 10^{-4}$  真空度下退火，有效地达到所要求的最佳性能。这是通过把固态和气态杂质都除去，减少位错密度，从而使残余应力减至最少。发现所得到的性能超过在还原性气氛中处理后所得到的性能，而和仔细净化的氢气中处理所产生的性能相当。从此迹象来看，真空产品与氢气退火处理相比较之下，其安全性和可靠性好，容易控制以及质量控制情况好，这一切证明采用真空炉设备是正确的。

欧洲一家厂商把3.8厘米 $\times$ 12.6厘米Fe—Si合金的铁芯片进行退火，每炉有7000只之多，这些另件装在许多夹具中，这些夹具事先曾用氧化铝涂料涂喷过，以防止另件和夹具焊合。这些材料在1240℃退火40分，随后在真空中冷却几分钟，在这以后用高纯度氮气强制循环冷却至室温<sup>[10]</sup>。

#### (4) 碳钢和低合金钢

普通的碳钢和低合金钢在真空炉中光亮退火的数量，相对于这些材料生产总数来说，是很有限的。然而，在产品清净度方面，从经济上认为是合算的，真空退火的利用正在增加。特殊的应用包括加固玻璃的网状物，次后要电镀的家庭用品和一些工程部件。

虽则目前大家并不都公认，然而在普通工程中，一个有很大潜力的应用范围，是用于冷加工产品的中间退火。在退火温度，保温时间超过一小时的那些情况下，网状输送带炉被淘汰了，现在必须使用有保护气氛的大型周期作业炉或推捍式设备。在许多方面正考虑发展一种简化的冷壁炉，它在 $10^{-1}$  下运行，使用不贵的防辐射屏和加热元件材料，将使真空退火从经济上按每公斤成本能够和现有的工艺相竞争。

#### (三) 真空脱气

金属的固态脱气是通常不能用一般的热处理工艺进行的少数几种操作中之一。双原子气体的平衡溶解度，正比于周围气体介质中气体分压之平方根<sup>[11]</sup>。因此，如果减少这些气体的分压（这点通过用负压最容易达到），于是材料将被脱气，一直脱到较低的平衡固溶度。但如果打算使气体原子扩散到金属自由表面之速度合适的话，则需要用高温。

由于难熔金属中间隙合金含量减少的结果，能导致性能上，包括延性和疲劳性能的改进这点看来，从难熔金属中脱去氧气，氮气和氢气是特别重要的。

对于钛和钛合金来说，要求氢含量低于50ppm，所以在酸洗后和焊接后往往进行脱氢。事实上钛的脱氢，在真空炉处理的难熔金属中，所占比重很高。有可能利用基本的热力学和动力学数据，进行钛脱气的理论计算<sup>[12]</sup>且这种理论计算的结果与工业炉中实际得到的结果很符合。代表性的例子为：在705℃温度和 $5 \times 10^{-4}$  真空度下处理后，热力学数据预测平衡氢含量为35ppm。在上述条件下经4小时保温的一根重480公斤，直径19毫米的棒料的实验结果表明：平均氢含量为32~38ppm之间<sup>[1]</sup>。

与此相类似, Fromm和Jehn曾研究过铌、氧和一氧化碳之气体—金属反应<sup>[14]</sup>。他们曾确定这些气体在高温和高真空条件下的平衡压力。此资料使只要知道部件的温度和这些气体的分压,就可估计真空脱气后这些材料的气体含量。

#### (四) 烧结

十多年来真空炉在烧结方面的应用不断地增长着。真空烧结代替传统的可控气氛烧结方法,这不仅是由于烧结部件产量的增长,而且还由于:

- (i) 真空环境的纯净性所带来的全面的好处。
- (ii) 负压有助于某些烧结反应(特别对于难于进行的材料)易于进行之事实
- (iii) 通过用较细的粉末,减少孔的尺寸和改善其分布的能力。

难熔金属,由于它们同氢和氧具有强的反应能力,在真空炉中烧结带来很多好处。曾烧结过钽,开始压实到3.52克/厘米<sup>3</sup>,在 $10^{-5}$  mmHg压力下和1200℃温度保温4小时后,得到9.5%残留气孔率的产品<sup>[15]</sup>。通过压焔和再烧结可以大大减少气孔率。

可以通过粉末途径来制备铌,但是铌粉,刚制得时,有很高的(约0.5%)的氧含量,如果不除去,将使烧结产品严重地发脆。通过控制压实件中的碳量,且用真空烧结减少氧含量达一个数量级。只要限制烧结温度低于2000℃,氧以一氧化碳的方式除去。<sup>[16]</sup>

在真空炉中烧结的限制条件,是在烧结温度下金属的蒸汽压。如果真空度接近蒸汽压,则通过蒸发将大量丧失金属。

碳化钨和钴的合金陶瓷,曾用烧结法在1480℃的冷壁式周期作业炉中进行正规生产<sup>[16]</sup>。在此温度钴的蒸汽压是 $10^{-3}$  mmHg,为了防止通过蒸发丧失大量的钴,该压力必须保持在 $5 \times 10^{-2}$  mmHg以上。在实践中,对于此特殊应用,因为需要保持十分强烈的渗碳条件,而将压力保持在 $5 \times 10^{-1}$  mmHg,压实件通常装入炉内的石墨板和支持物上。生产合金陶瓷的整个烧结过程必须加以仔细控制,已有报导:新近为此目的引用了完全自动化的半连续炉。

一家机械制造厂新近报导:在真空炉中烧结的不锈钢粉金属另件,比在氢气中或裂解氨气氛中烧结的性能来得优越。该公司进行的盐雾试验表明:得到了较好的腐蚀性能,虽然机械性能试验表明:屈服和拉伸强度轻微降低,而延伸率大大增加。在该公司中,真空烧结目前至少用于五种不锈钢,其中包括AISI410, 420和303。

#### (五) 气淬操作

在本文中已数次强调过,由于冷壁真空炉的快速气淬能力,提高了产量。更应强调的是这种快速冷却能力使几种通常所说的“气硬钢”从奥氏体化或固溶处理温度冷却时能够转变为马氏体。因此,就此观点来说,对在这些炉子中的气淬参数作一些定量的考察似乎是适当的。

##### (1) 气淬参数

Dawes和Reynoldson曾在一只工业炉中用AISI H13钢作了一系列的试验,测定高纯氢、氮、氨和氩从1000℃处理温度的淬火效能。他们用3.8厘米立方体试样和700 mmHg的不变的气体压力,通过一变速度风扇进行强制循环气体,所得的结果表示在图6中。

从此图可以看到：如果氢的冷却时间为1，于是相对地氮是1.20，氮是1.5，氩是1.75。

在高于1050℃时用氢可能使钢脱碳，还有安全的原因，通常不用氢。氮的成本高，特别在欧洲国家，限制其使用，所以在那里对于一般用途，通常推荐用高纯氮。在氮可能引起有害影响的场合，则必须用具有相当慢冷却速度的氩气。然而，使用氩气大大减少了得到理想硬度的淬透性范围。

制造厂曾评价过图4所示类型的炉子的一些冷却特性。他们曾显示：随着淬火气体压力和淬火流速的提高，从处理温度冷却的冷却时间缩短。图7说明了一炉重量为258公斤碳钢炉料，用不变压力的氮气淬火时，流速对冷却时间的影响。

可以看到流速从400英尺/分增到1600英尺/分，使从1100°冷到300℃所需的时间减少50%。图8表示：炉内炉料重量增加九倍，从1100℃冷至200℃所需时间只增加12%左右。

上述的冷却特性，不同的炉子将显然不同，它依赖于其设计和装炉量。然而却给出这些参数的数量级的概念，对于任何特殊炉子的这些数据之测定，对于热处理工程师从他的炉子中得到最好的性能是很有用的。然而，必须认识到：还应对能够整体淬硬的最大截面尺寸予以注意。这需要仔细考虑上面所得到的一些数据和所讨论的材料之适当的连续冷却曲线图之间的关系。

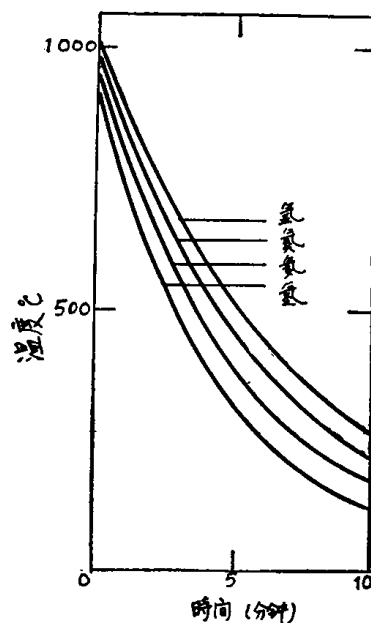


图6 在各种气体中3.8厘米立方体的H13钢从1000℃冷却所需时间

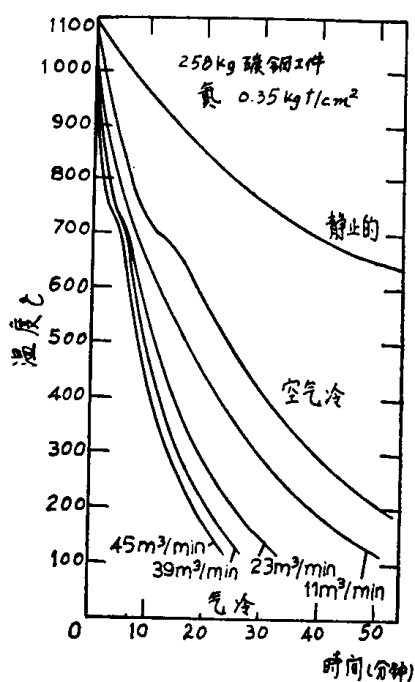


图7 气体流速对冷却时间之影响

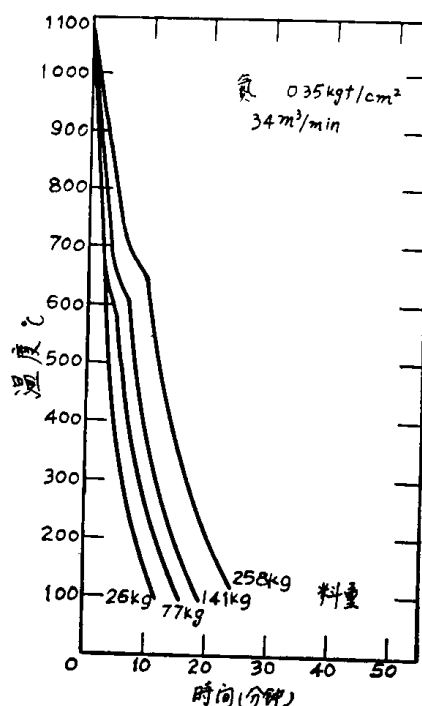


图8 装炉量对冷却时间的影响

## (2) 工具钢

空气硬化的工具钢之光亮淬火,在许多情况下曾证明在经济上比盐浴处理更有生命力,它是在冷壁型真空炉中气淬的最重要的应用领域。其优越之处是能使变形减至最少,在许多情况下,通过真空炉处理实际上消除了复杂外形的精整费用,Reynoldson和Harris<sup>[19]</sup>曾对达到这种情况所必须采取的方法作了详细的讨论。

在下列工具钢淬火的讨论中,采用美国钢铁协会分类法。

### (a) 冷加工工具钢

在A系列中的中合金空气硬化钢和D系列的高碳高铬钢,均经常在气体淬火炉中进行淬火。达到理想硬度之适当处理条件和这些钢之近似化学成分列于表6和表7。

值得注意的例外是广泛使用的耐磨工具钢D3(含12%Cr, 2.5%C),如果要得到必要的硬度,则它必须油淬。

从表6和表7可以看到,处理工具钢只需要用 $10^{-1}$ 到 $10^{-3}$ 托的要求不高的真空度。因为铬和锰之相当高的蒸汽压要求这种水平的真空度。纯态的这些元素的蒸汽压和温度之函数关系可在图2中找到。在固溶体中这些元素的蒸汽压应略低于纯态时的数值,且实际值和在钢中的合金浓度有关。

表6 A系列工具钢淬火回火参数

| AISI            | 成 5% |      |      |      |      |       | 予热温度    | 淬火温度     | 真空度*              | 淬火剂 | 回火温度    | 硬度    |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|---------|----------|-------------------|-----|---------|-------|
|                 | C    | W    | Mo   | Cr   | V    | 其他    | ℃       | ℃        | 托                 |     | ℃       | HRC   |
| A <sub>2</sub>  | 1.0  |      | 1.0  | 5.0  |      | 2.0Mn | 750/800 | 910/980  | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰   | 150/600 | 50/64 |
| A <sub>4</sub>  | 1.0  |      | 1.0  | 1.0  |      | 3.0Mn | 670     | 820/870  | $10^{-1}/10^{-3}$ |     | 150/500 | 50/64 |
| A <sub>5</sub>  | 1.0  |      | 1.0  | 1.0  |      | 2.0Mn | 600     | 790/840  | $10^{-1}/10^{-3}$ | 性   | 150/500 | 54/64 |
| A <sub>6</sub>  | 0.7  |      | 1.0  | 1.0  |      |       | 650     | 830/870  | $10^{-1}/10^{-3}$ |     | 150/500 | 50/64 |
| A <sub>7</sub>  | 2.25 |      | 1.0  | 5.25 | 4.75 |       | 800/830 | 950/980  | $10^{-1}/10^{-2}$ | 气   | 150/500 | 50/64 |
| A <sub>8</sub>  | 0.5  | 1.25 | 1.25 | 5.0  |      | 1.8Mn | 800     | 980/1010 | $10^{-1}/10^{-3}$ |     | 150/550 | 50/62 |
| A <sub>10</sub> | 1.35 |      | 1.5  |      |      | 1.8Ni | 650     | 790/820  | $10^{-1}/10^{-3}$ | 体   | 150/500 | 50/62 |

\* 光洁淬火需要的真空度

表7 D系列工具钢淬火回火参数

| AISI           |      |   |     |      |     |       | 予热温度 | 淬火温度      | 真空度*              | 淬火剂  | 回火温度    | 成品硬度  |
|----------------|------|---|-----|------|-----|-------|------|-----------|-------------------|------|---------|-------|
|                | C    | W | Mo  | Cr   | A   | 其他    | ℃    | ℃         | 托                 |      | ℃       | HRC   |
| D <sub>1</sub> | 1.0  |   | 1.0 | 1.20 |     |       | 815  | 970/1010  | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰性气体 | 150/590 | 52/64 |
| D <sub>2</sub> | 1.5  |   | 1.0 | 1.20 |     |       | 815  | 980/1020  | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰性气体 | 150/590 | 52/64 |
| D <sub>3</sub> | 2.25 |   |     | 1.20 |     |       | 815  | 930/980   | $10^{-1}/10^{-2}$ | 油    | 205/450 | 52/61 |
| D <sub>4</sub> | 2.25 |   | 1.0 | 1.20 |     |       | 815  | 930/980   | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰性气体 | 150/500 | 52/64 |
| D <sub>5</sub> | 1.5  |   | 1.0 | 1.20 |     | 3.0Co | 815  | 980/1020  | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰性气体 | 150/590 | 52/64 |
| D <sub>7</sub> | 2.35 |   | 1.0 | 1.20 | 4.0 |       | 815  | 1000/1060 | $10^{-1}/10^{-2}$ | 惰性气体 | 150/590 | 52/64 |

\* 光洁淬火所需要的真空度

### (b) 铬基热锻模钢

这些H系列的钢种，广泛用于模温不超过315℃的热冲压用的模具中，包括铆钉铆合模，弯曲模，压铸和塑料铸模。该系列钢的近似化学成份和推荐的热处理方法列于表8。

表八 H系列铬基工具钢淬火回火参数

| AISI            | 成 分% |      |     |      |     |         | 预热温度 | 淬火温度      | 真空度*                                   | 淬 火 剂  | 回火温度    | 成品硬度  |
|-----------------|------|------|-----|------|-----|---------|------|-----------|----------------------------------------|--------|---------|-------|
|                 | C    | W    | Mo  | Gr   | V   | 其他      | ℃    | ℃         | 托                                      |        | ℃       | HRC   |
| H <sub>10</sub> | 0.4  |      | 2.5 | 3.25 | 0.4 |         | 820  | 1000/1040 | 10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-2</sup>     | 惰性气体   | 530/650 | 40/56 |
| H <sub>11</sub> | 0.35 |      | 1.5 | 5.0  | 0.4 |         | 820  | 990/1030  | 10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-2</sup>     | 惰性气体   | 530/640 | 40/52 |
| H <sub>12</sub> | 0.35 | 1.5  | 1.5 | 5.0  | 0.4 |         | 820  | 990/1050  | 10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-2</sup>     | 惰性气体   | 530/640 | 40/52 |
| H <sub>13</sub> | 0.35 |      | 1.5 | 5.0  | 1.0 |         | 820  | 990/1050  | 10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-2</sup>     | 惰性气体   | 530/640 | 40/52 |
| H <sub>14</sub> | 0.4  | 5.0  |     | 5.0  |     |         | 820  | 1010/1060 | 10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-2</sup>     | 惰性气体   | 530/640 | 40/52 |
| H <sub>16</sub> | 0.55 | 7.0  |     | 7.0  |     |         | 820  | 1120/1180 | 2×10 <sup>-1</sup> /1×10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/640 | 40/54 |
| H <sub>18</sub> | 0.4  | 4.25 |     | 4.25 | 2.0 | 4.25 Co | 820  | 1090/1200 | 2×10 <sup>-1</sup> /1×10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/640 | 40/54 |

\* 光洁淬火所需要的真空度

### (c) 钨和钼基热锻模钢

钨基热锻模钢适用于温度达540℃的热冲压操作中，特别适用于黄铜锻造和压铸。较廉的钼基钢通常用于铜基合金的热加工。表9中列出了H系列中的这些钢的化学成份和推荐的热处理工艺。从此表可以看到如果要得到理想硬度的话，建议某些牌号用油淬。因此，一般说来，对这些材料的截面尺寸有限制。据报导<sup>[19]</sup>：对工具截面尺寸的这种限制和对在盐中淬火的，分级淬火和空冷的工具的截面尺寸之限制是同样的，例如用于黄铜锻模的H21钢一直到直径15厘米截面尺寸均能满意地淬硬。

表九 H系列钨和钼基工具钢淬火回火参数

| AISI            | 成 分% |      |     |      |     |    | 预热温度 | 淬火温度      | 真空度*                                 | 淬 火 剂  | 回火温度    | 成品硬度  |
|-----------------|------|------|-----|------|-----|----|------|-----------|--------------------------------------|--------|---------|-------|
|                 | C    | W    | Mo  | Cr   | V   | 其他 | ℃    | ℃         | 托                                    |        | ℃       | HRC   |
| 钨 基 钢           |      |      |     |      |     |    |      |           |                                      |        |         |       |
| H <sub>20</sub> | 0.35 | 9.0  |     | 2.0  |     |    | 820  | 1100/1200 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 42/52 |
| H <sub>21</sub> | 0.35 | 9.0  |     | 3.5  |     |    | 820  | 1100/1200 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 42/52 |
| H <sub>22</sub> | 0.35 | 11.0 |     | 2.0  |     |    | 820  | 1100/1200 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 42/52 |
| H <sub>23</sub> | 0.30 | 12.0 |     | 12.0 |     |    | 820  | 1200/1260 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 回 火 到   | 沉淀硬度  |
| H <sub>24</sub> | 0.45 | 15.0 |     | 3.0  |     |    | 820  | 1100/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 42/54 |
| H <sub>25</sub> | 0.25 | 15.0 |     | 4.0  |     |    | 820  | 1150/1260 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 42/54 |
| H <sub>26</sub> | 0.5  | 18.0 |     | 4.0  | 1.0 |    | 820  | 1180/1260 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 50/60 |
| 钼 基 钢           |      |      |     |      |     |    |      |           |                                      |        |         |       |
| H <sub>41</sub> | 0.65 | 1.50 | 8.0 | 4.0  | 1.0 |    | 820  | 1080/1190 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 50/62 |
| H <sub>42</sub> | 0.60 | 6.0  | 5.0 | 4.0  | 2.0 |    | 820  | 1120/1220 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 50/60 |
| H <sub>43</sub> | 0.50 |      | 8.0 | 4.0  | 3.0 |    | 820  | 1090/1190 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/650 | 48/58 |

\* 光洁淬火所需要的真空度

#### (d) 钼和钨基高速钢

表10中列出了M系列和T系列高速钢的分类, 近似化学分析成份和推荐的热处理方法。这儿又存在一个高纯氮所能淬硬的截面尺寸的限度。例如用来作切削工具的5毫米截面的M2高速钢, 装炉量为60公斤时, 经常能处理到理想硬度, 而M2制的15厘米×15厘米截面工件不能用氮气淬硬。

表十 T和M系列高速钢的淬火回火参数

| AISI            | 成 分 % |      |     |      |      |         | 预热温度    | 淬火温度      | 真空度*                                 | 淬 火 剂  | 回火温度    | 成品硬度  |
|-----------------|-------|------|-----|------|------|---------|---------|-----------|--------------------------------------|--------|---------|-------|
|                 | C     | W    | Mo  | Cr   | V    | 其他      | ℃       | ℃         | mm                                   |        | ℃       | HRC   |
| 钼 基 高 速 钢       |       |      |     |      |      |         |         |           |                                      |        |         |       |
| T <sub>1</sub>  | 0.7   | 18.0 |     | 4.0  | 1.0  |         | 850     | 1260/1300 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 530/630 | 58/66 |
| T <sub>2</sub>  | 0.8   | 18.0 |     | 4.0  | 2.0  |         | 850     | 1260/1300 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>4</sub>  | 0.75  | 18.0 |     | 4.0  | 1.0  | 5.0 Co  | 850     | 1260/1300 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>5</sub>  | 0.8   | 18.0 |     | 4.0  | 2.0  | 8.0 Co  | 850     | 1260/1300 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>6</sub>  | 0.80  | 20.0 |     | 4.5  | 1.5  | 12.0 Co | 850     | 1260/1290 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>7</sub>  | 0.75  | 14.0 |     | 4.0  | 2.0  |         | 850     | 1260/1300 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>8</sub>  | 0.75  | 14.0 |     | 4.0  | 2.0  | 5.0 Co  | 850     | 1250/1280 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>9</sub>  | 1.2   | 18.0 |     | 4.0  | 4.0  |         | 850     | 1250/1280 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| T <sub>15</sub> | 1.5   | 12.0 |     | 4.0  | 5.0  | 5.0 Co  | 850     | 1000/1200 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/630 | 58/66 |
| 钨 基 高 速 钢       |       |      |     |      |      |         |         |           |                                      |        |         |       |
| M <sub>1</sub>  | 0.8   | 1.5  | 8.0 | 1.0  |      |         | 820/850 | 1180/1210 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/66 |
| M <sub>2</sub>  | 0.85  | 6.0  | 5.0 | 2.0  |      |         | 820/850 | 1190/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/66 |
| M <sub>3</sub>  | 1.05  | 6.0  | 5.0 | 2.40 |      |         | 820/850 | 1200/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/66 |
| M <sub>4</sub>  | 1.3   | 5.5  | 4.5 | 4.0  |      |         | 820/850 | 1200/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/67 |
| M <sub>6</sub>  | 0.8   | 4.0  | 5.0 | 1.5  | 12.0 |         | 820/850 | 1180/1220 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/67 |
| M <sub>10</sub> | 0.9   |      | 8.0 | 2.0  |      |         | 820/850 | 1180/1220 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 油性气体/油 | 550/640 | 56/67 |
| M <sub>15</sub> | 1.5   | 6.5  | 8.5 | 5.0  | 5.0  | 5.0 Co  | 820/850 | 1190/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/67 |
| M <sub>33</sub> | 0.9   | 1.5  | 9.5 | 1.15 | 9.0  | 9.0 Co  | 820/850 | 1200/1230 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/68 |
| M <sub>42</sub> | 1.1   | 1.5  | 9.5 | 1.15 | 8.0  | 8.0 Co  | 820/850 | 1190/1210 | 2×10 <sup>-1</sup> /10 <sup>-1</sup> | 惰性气体/油 | 550/640 | 56/68 |

\* 光洁淬火所需要的真空度

#### (六) 液淬操作

虽然在六十年代中期就有了油淬真空炉, 但仅仅在1970年前后, 才足够可靠而为热处理工业所接受。相互竞争的制造商至少提供了二种根本不同的设计类型。其一是在炉子下面装置一个淬火槽, 在淬火槽中装入蒸汽压非常低的淬火油。图9中示出了这种类型炉子的一个实例。(图略去) 虽然这种设想简单的炉子比较容易制造, 但总的生产能力受到限制, 因为工件和炉床均必须一起进行淬火。第二个类型, 它有许多变种, 为了把加热和冷却分开, 把炉子分成二个或二个以上的区域, 在它们之间有一扇内门。在奥氏体化以后, 加热区先用惰性气体回填, 再打开门, 把炉料从加热区输送到冷却区, 然后降至淬火剂中去。淬火剂可以是油, 水或在最新设计中用熔盐<sup>[20]</sup>。由于这些发展, 能够在真空炉中淬硬的钢种类型, 现在实际上已无限制。



图10示出了一只具有气淬室和油淬室的真空炉，(图略去)，其装炉量达400公斤，最高工作温度1320℃。图11中表示了在这种型式炉子中油淬后有代表性的一批高速钢模具。

#### (1) 工具钢

随着具有液淬设备的冷壁或真空炉的使用，现在能够成功地处理的空硬工具钢的截面尺寸无严格的限制。且类似地AI SI O系列的锰和钨的油冷硬化工具钢也能进行处理。这些合金从760°~815℃温度范围淬火，在150°~260℃回火得到57~62H<sub>R</sub>的硬度。

#### (2) 工程钢和不锈钢

机械制造行业是首先利用油淬火炉处理普通碳钢，低合金钢和不锈钢制的一般产品另件的部门之一。目前在油淬真空炉中淬硬的这类材料包括AI SI4140, 4150, 6195, 和52100, 和AI SI400系列的不锈钢。一个特别有兴趣的应用场合，是淬硬AI SI440C钢制的6毫米直径的滚珠轴承<sup>[21]</sup>。该轴承处理时每批装炉量为35公斤，堆成7.5厘米厚的层状，这些轴承均匀地被淬硬到H<sub>R</sub>62的硬度。

#### (3) 油淬时的渗碳

在真空炉中油淬高速钢之早期，当淬火时观察到有碳干扰之问题。在许多情况下，这可能对切割工具的寿命有好处，<sup>[22]</sup>但在表面形成碳化物也能导致脆化。在极端情况下，对于大截面尺寸的工件，在温度高于共晶温度时，可能产生表面局部熔化。这种现象就是通常所说的“鳄鱼皮”效应，它是由淬火周期初期时，包围在钢周围的油蒸汽外套之渗碳作用所产生的。

在1260°~1300℃温度范围中固溶处理后，标准的操作法是用氮回填到差不多为大气压力，并立即淬火。在此压力下所形成的薄而密度大的蒸汽外套，有良好的传热性能和快的淬火效果。可惜，从这种密度大的蒸汽外套中碳的传播特性也高，因为薄的外套中活性碳的浓度也高。假如稍减慢淬火速度仍可能淬硬工具钢的话，且这是通常的情况，可通过淬火时在油上面维持某一真空度来大大地减少碳的传播，这是由于形成密度较小的蒸汽外套，既减少所含的碳量又减慢了传热性能的缘故。

另一种方法是可通过用氮回填，并在油淬前先用风扇冷却到1000℃来减少碳干扰。

#### (4) 沉淀硬化和回火

高镍合金，在固溶处理后，为了达到合乎要求的性能，其时效温度往往需要超过700℃，故通常必须在同一高温炉中时效。

所有各类的回火操作和其它沉淀硬化处理。如用于不锈钢和钛基合金的沉淀硬化处理。均在500℃温度以下进行。因此，从经济上考虑，这种处理在一种便宜得多的另一结构的冷壁炉中进行。在装料后，这种炉子抽真空，然后充入高纯氮或氩到恰好低于大气的压力。在这样低的温度下，辐射传热量是极有限的，因而必须使气体进行强制循环，以便通过对流来加热部件。一般在回火后，钢另件上得到光亮的精整表面。然而，也有例外，特别对于那些含有各种含量的钛和铝的那些合金钢。