

**真空热处理与
渗碳气氛碳势的自动控制**
(只限国内发行)

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 2 $\frac{2}{3}$ ·字数 62 千字
1975 年 3 月北京第一版·1975 年 3 月北京第一次印刷
印数 00,001—11,000 定价 0.27 元

统一书号: 15033·(IV)654

目 录

真空热处理.....	(1)
一、概述.....	(1)
二、真空热处理炉.....	(2)
A. 热壁真空炉.....	(2)
B. 冷壁真空炉.....	(3)
1. 发热体	(3)
2. 隔热方法	(3)
3. 冷却方法	(4)
三、典型的真空热处理炉.....	(5)
四、真空系统.....	(9)
五、仪表.....	(10)
六、蒸气压.....	(11)
七、真空热处理中应注意的事项.....	(12)
八、真空热处理实例.....	(13)
九、真空渗碳处理.....	(16)
十、真空热处理的优缺点.....	(22)
十一、真空处理在其它加工工艺中的应用.....	(24)
渗碳气氛碳势的自动控制.....	(26)
引言.....	(26)
一、气体渗碳炉的结构和特点.....	(26)
二、渗碳气氛.....	(28)
三、碳势自动控制——Carbomat 法	(28)
四、气体渗碳工艺参数的计算与确定.....	(30)
五、其它热处理炉.....	(38)
六、Aichelin 公司的产品动向.....	(40)

真空热处理

一、概 述

约在 1949 年开始在热处理上应用小型的真空炉。这种真空炉主要在钟表行业上用于处理时效硬化合金钢制的小弹簧和小螺钉等零件。这些小零件经真空炉热处理后显著地提高了物理性能和表面光洁度，初次显示了真空热处理的优点。但是，由于这种小型真空炉的冷却速度很慢，不仅使生产周期长，而且不能满足其他钢种零件的热处理要求，因此应用范围受到很大的限制。

随着真空炉制造技术的发展，到了 1958 年开始采用真空密封马达以高速驱动风扇来循环惰性气体，实现了强制气体对流冷却，因此使一批空冷硬化的钢种可在这种类型的真空炉中进行真空热处理了。

1960 年前使用的较大型的真空炉多数是“外热式”的，即发热体在真空密封马弗罐外面进行加热，故又称为“热壁真空炉”。这种真空炉的主要缺点是使用温度受到马弗罐材料的限制，而且加热速度和冷却速度也比较缓慢。

可见热壁真空炉满足不了实际生产上对高温、高真空度、快速加热和快速冷却的要求。为了满足上述要求以扩大更多钢种能进行真空热处理的需要，促使真空炉的设计和制造得到进一步的发展，到 1960 年初就研制出小容量的“冷壁真空炉”，或叫“内热式真空炉”，这种真空炉是把发热体、隔热板（或绝热层）和处理的工件全部密封在水冷的真空室内。这种真空炉提高了使用温度、真空度、热效率（即快速加热）和冷却速度。但是，采用惰性气体进行强制对流冷却的方法，对于淬透性较低的钢种和大截面尺寸的工件就不能淬透，所以冷却速度仍然有限。

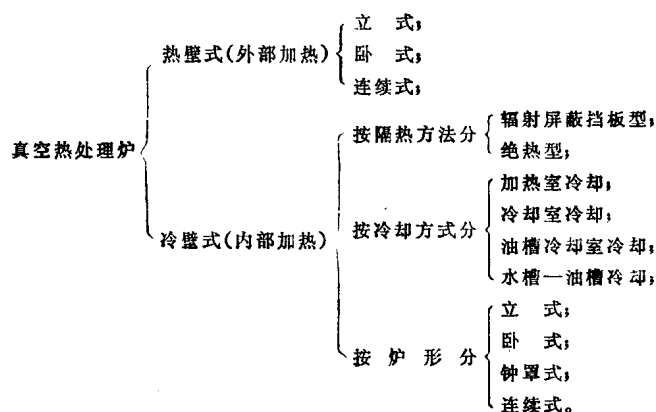
为了提高淬火的冷却能力，约在 1968 年前后，研制成功了配有油槽和水槽的冷壁真空炉，并在实际生产中应用，从而为各种钢种、钛合金和钕合金进行真空热处理提供了设备。

由于真空热处理具有许多优点，如 AISI410 不锈钢螺栓经真空热处理后的强度比氢气保护炉处理的要高 25% 左右；真空热处理的模具可提高使用寿命达 400%；真空热处理后的工件变形量很小，约为一般热处理的 1/10，从而减少精加工余量，例如在欧洲一些国家中，在保护气氛炉中光亮热处理的模具，精抛光就需要 2 天的时间，而同一模具经真空热处理后的精抛光只用 4 分钟就完成了；从技术条件来说，如果没有真空钎焊，则喷气发动机元件、火箭燃烧室的制造就要困难得多；另外真空钎焊在喷气发动机构件的修补上应用，仅在美国就节约资金超过 1 千 6 百万美元；真空热处理引人注目的优点是没有污染环境的副作用，不需要采取防止公害措施和投资；经多年生产经验证明，真空热处理的综合经济效果很好。

由于真空热处理的优越性逐渐被普遍了解及真空炉应用范围的扩大，所以要求进行真空热处理的工件数量不断增加。目前国外主要的热处理制造公司已有系列化的真空炉产品出售，并在美国为了满足大批量生产的需要，近年来制造了一批具有净化、预热、高温加热和冷却的多区段的连续式真空炉，日本也引进一些连续式真空炉。Hayes 公司已在真空炉中进行渗碳实验，即“真空渗碳”热处理工艺，取得了渗碳层浓度更均匀和显著缩短生产周期的效果。

二、真空热处理炉

真空热处理炉按其加热方法、隔热方法、冷却方式和炉形等可分为下列类型：



A. 热壁真空炉

按照加热方法的不同，真空炉可分为冷壁（内热式）和热壁（外热式）两种。典型热壁真空炉如图 1 所示，发热体和隔热材料在真空马弗罐的外面。早期的真空炉都是热壁式的。即利用外部热源加热真空马弗罐。所以，它的使用温度受到制造马弗罐的材料 的限制。如：用软钢制造的马弗罐只能在 500°C 以下使用；用 SuS 27 钢制造的马弗罐只能在 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 以下使用；用不锈钢制造的马弗罐使用温度不超过 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ ；即使用镍铬铁耐热合金制造的马弗罐也不能长时间使用于 1000°C 以上。为了获得适当的真空度要求马弗罐壁有足够的厚度，一般采用 25 毫米以上的厚度，使其在炉子的最高温度下能承受住大气压强的作用。为了减少马弗罐的厚度，可采用在马弗罐内、外壁同时抽真空的方法，但是这种真空炉需要有灵敏的压力平衡系统，压力平衡系统失调将导致马弗罐的破坏。

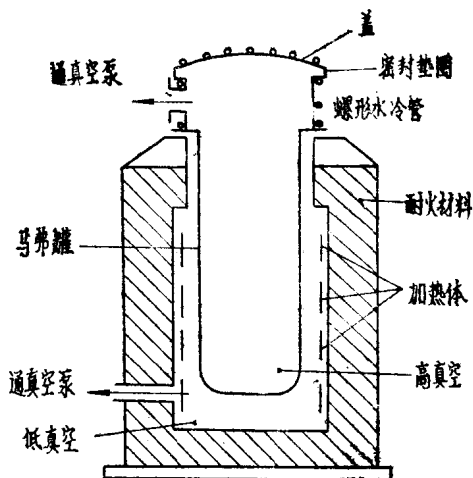


图 1 井式热壁真空热处理炉

热壁真空炉还有加热速度和冷却速度缓慢的缺点。当炉子升温时，发热体需先加热马弗罐，然后才能通过热辐射加热工件，所以，热效率低，加热速度慢。在冷却工件时，必须使马弗罐同时被冷却。如上所述马弗罐一般具有相当的厚度，因此它本身的热容量非常大，这就使工件冷却时，不能得到一般淬火所要求的冷却速度。但是热壁真空炉的密封方法比较简单，抽真空也较方便。

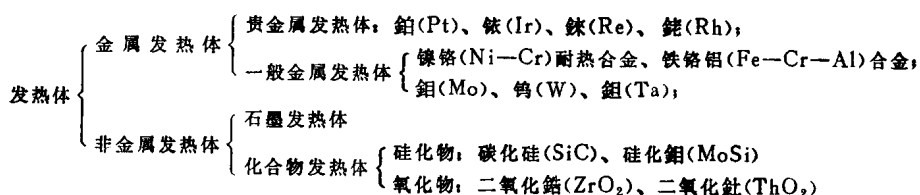
由于上述缺点，所以热壁真空炉在热处理中实用价值比较小。为了适应更高温度、更低压强及快速加热和冷却的需要，近年来开始设计和制造了冷壁真空炉，从而热壁真空炉就变得有些过时了。

B. 冷壁真空炉

现在热处理所用的真空炉大部分是冷壁真空炉。其发热体，辐射屏蔽挡板（或绝热体）和热处理的工件全部密封在水冷的真空室内。比较先进的冷壁真空炉中还备有热交换器，可移动挡板、强迫气体作高速循环冷却的风扇、油冷和水冷装置等等。这种类型的炉子由于不用马弗罐，而且发热体和工件直接相对，所以既没有马弗罐的损耗问题，又显著提高了热效率。内热式炉子的容积没有受马弗罐尺寸限制的问题，所以有容纳整个飞机机翼或长达9米工件的大型真空热处理炉。由于冷壁真空炉有更多的优点，并得到广泛应用，所以给予比较详细的介绍如下。

1. 发热体

真空炉用的发热体可分为下列几种：



1) 贵金属发热体：价格高、加工性差，所以一般不采用。而铂(Pt)的蒸气压较高，所以，在真空炉中的使用是不理想的。

2) 一般金属发热体：铬铝铁(Cr—Al—Fe)、铁铬(Fe—Cr)、镍铬(Ni—Cr)耐热合金和FCH(Fe—Cr系)的电热丝在 10^{-2} 托以上的真空度和高温下使用时，由于铝(Al)、铬(Cr)发生挥发，所以高温使用效果不好。但是在回火炉那样低温场合下都采用此种合金作发热体。而钨(W)、钼(Mo)和钽(Ta)的熔点高、蒸气压低，所以适合在高温氢气或真空中使用。辐射屏蔽挡板型的或要求真空度高的实验室用的真空炉一般采用钼(Mo)和钨(W)，偶而也有用钽(Ta)作发热体。但是这些发热体工作时变形大，所以必须加大和挡板之间的空间。

3) 非金属发热体：生产上使用的绝热型真空炉一般采用石墨作发热体。它的形状有布(板)状和棒状两种。由于在真空中的加热依靠热辐射方式进行，所以采用布状的对于增加辐射面积是有利的。但是，在加热室进行冷却的真空炉中，由于强制吹风冷却，易被损坏，所以一般不使用布状而采用棒状石墨或耐热金属作发热体。实践证明：石墨作为最高温度达1427℃和真空度为 10^{-3} 托的真空炉的发热体、绝热体、炉底和夹具是完全合适的。

2. 隔热方法

为了充分利用发热体所产生的热能，提高热效率，实现快速加热和改善操作条件，必须采用合适的隔热方法和隔热材料。

首先简略介绍一下真空热处理炉对于隔热材料的要求：

1) 为了提高炉子的热效率，必须把辐射热基本上全部反射回加热室，所以要求隔热材料有良好的反射能力（尤其是在挡板型或棒状发热体的场合）；

2) 热容量小（特别是在加热室冷却的情况下，热容量将影响到工件的冷却速度。）；

3) 隔热效果大；

4) 价格低、更换方便。

隔热方法一般分为辐射屏蔽挡板式和绝热式两种。

1) 辐射屏蔽挡板型: 挡板是由多层抛光金属板所组成, 利用它把热量最大限度地反射到加热室。挡板的数量和材料取决于炉子的最高工作温度。温度愈高则挡板的数量愈多, 并且需要使用更耐热的材料制造。一般采用钼板, 其层数为 3~5 层。其效率主要取决于反射率。如果由于污染, 挡板失去其原来的表面光洁度, 就显著地降低其对辐射的屏蔽作用。但是若污染不严重, 一般可以通过把加热室抽真空到最低压强水平和加热到最高的工作温度, 通过高温脱气作用以达到净化挡板的目的, 亦可在加热室中引进净化后的氢气以还原某些不能解离的氧化物。

在使用温度超过 1427°C 的情况下, 采用辐射屏蔽挡板的隔热方法是合适的。这种类型的炉子具有较快的加热和冷却速度。由于挡板对于大多数气体不吸收, 所以容易抽真空并且可以达到高的真空水平。因此, 在这类炉子中配有扩散泵。实验室用的炉子多用这种隔热方法。但是, 它与绝热型的相比, 挡板在反复加热、冷却过程中容易开裂, 而且成本显然要高得多。

2) 绝热式: 为了避免挡板型所固有的缺点, 工业上用的大多数冷壁真空炉是采用绝热式的。使用的绝热材料应具有低的导热性和比热、重量轻及空气渗入的倾向小的材料。一般以石墨毡或氧化铝织物作绝热材料, 但是氧化铝织物吸湿性比较大, 所以它在真空度要求较高的场合下是不理想的。还应指出的是, 若把石墨毡使用于加热室冷却的炉子上, 受到强制吹风冷却的作用时易于飞散, 会导致发热体发生故障, 所以这类炉子不应该用石墨毡作绝热材料。在加热室冷却炉子中多以辐射挡板和绝热材料配合使用。在用石墨棒作发热体的情况下, 为了提高热效率, 采用辐射挡板是必要的。但以石墨布作发热体的炉子只要有良好的绝热措施就可以了。

绝热型的真空炉不容易受到损坏, 而且成本低得多, 热损失少, 所以维持一定温度所需要的功率就小。基于上述原因, 它更适合于作为一般真空炉的隔热方法。其使用温度可达 1427°C。

最近有资料报导了 Hayes 公司在油淬真空炉上应用新的绝热系统, 以两层纤维状的二氧化锆夹在两层柔软石墨层之中, 绝热材料经由“猪尾状”钼丝线夹固在壳体上。这种绝热系统具有良好的绝热能力。采用新的绝热系统以后, 炉子的壁厚可由 54 毫米减小到 25 毫米, 节约总功率约 10%, 提高升温速度约 10%, 冷却速度增加 5%。由于石墨内衬更为致密并具有反射能力, 使炉子有更好的温度均匀性 ($\pm 3^\circ\text{C}$)。该绝热系统具有良好的抵抗空气渗入的能力, 因此抽真空的速度更快, 同时减少了工件表面的氧化和腐蚀现象。避免了一般绝热系统由于收缩或淤积而引起的内衬的破坏, 新的绝热系统具有更高的抗氧化性, 因此减少了维修费用, 并延长了炉子的使用寿命。据称该公司自 1973 年元月份开始把采用新绝热系统的油淬真空炉投入运转 (每天 5 炉次。工作温度为 650~1280°C) 直到 73 年 8 月份, 绝热材料还没有发生变化。

3. 冷却方法

淬火操作中冷却速度是最关键的因素。按其冷却方法, 真空炉可分为气体冷却、油冷却和水——油冷却等方式。

1) 气体冷却

一般又分为两种, 其一是加热和冷却是在同一室中进行的, 被称为加热室冷却真空炉。

另一种是加热室和冷却室是分开的，称为冷却室冷却真空炉。

(i) 加热室冷却：工件加热保温后，把适当的气体充入加热室中，并移去一部分绝热材料，用冷却风扇进行强制对流冷却。通过设置在炉内的热交换器或者在炉外的强制冷却装置进行气体自身冷却，以获得有效的冷却速度。

(ii) 冷却室冷却：工件加热保温后被送到冷却室，在加热室和冷却室之间用真空阀门分隔开，并把适当气体充入冷却室，用冷却风扇进行强制对流冷却。与前者相比，它具有更大的冷却速度，可以缩短以后第二次排气时间，并使加热室保持在高温状态。但是这种炉子的容积则为加热室冷却的两倍。

(iii) 冷却气体：作为冷却介质的气体有氢、氦、氮和氩等等。如果把空气的热传导率作为1，则氢是空气的7倍，氦是6倍，氮约为0.99倍，氩约为0.7倍。氢和氦的冷却效果大，但价格高，而且氢有安全方面的问题。所以常用的是纯度为99.999%以上的纯氮。然而，钛合金易被氮化，一般只使用氢。

对于某一气体而言，冷却时间和充入气体的压强的0.5乘积成反比，但压强超过1000毛后，其冷却时间没有显著地减小，而在700~750毛的压力下使用最为经济。

2) 油冷却

采用保护气体冷却方法的冷却速度受到一定的限制，对于淬透性不太高的钢种和截面稍大的工件就不能淬透，为此，研制了油淬火真空炉。

为了实现油冷，真空炉的结构有下列三种形式：

(i) 工件在加热室加热保温后，进入冷却室，关闭其间的阀门，充入惰性气体，保持一定时间后，冷却室四壁上安装的喷嘴就喷射出冷却油，象骤雨一样地冲在被处理的工件上，使其急剧冷却，最后把工件浸在油中，从喷射开始到完全浸没在油中的时间很短，约为2~3秒钟。

(ii) 在炉子中设置有加热室、气体冷却室和油槽。在加热室与冷却室及油槽中间用真空阀门分隔开。这种炉子的结构比较复杂，制造成本较高。

(iii) 加热室与冷却室和油槽之间没有真空阀门分隔开的，机构简单，故障也少，冷却速度更快。但是蒸发了的淬火油在炉壁上会再度液化而附着在其上，所以净化是完全必要的，同时这时选用的淬火油必须是低蒸汽压的。

对于油淬真空炉而言，要解决的重大问题之一是研制蒸汽压低、冷却能力强和光亮性的淬火用油。经 Hayes 公司和日本 パーテ 化学公司共同研究，提出以 H_1 、 H_2 两种油作为真空淬火用油，并已在生产上使用。1971年日本出光公司研究出在用溶剂精制的低粘度石油中配以冷却改善剂，稳定剂和光亮剂，按其用途分为淬火油“HV-1”和淬火油“HV-2”两种。

3) 水冷却：油淬真空炉对低碳钢、低合金钢、钛合金和锆合金进行热处理时还不能得到十分满意的结果，对于这类合金必须采用水淬淬火。当然，在水淬火时在加热室与水槽中间用真空阀门分隔是完全必要的。

三、典型的真空热处理炉

1. 加热室冷却真空热处理炉

图2所示是 Ipsen 公司的 VFC 型真空热处理炉的内部构造。发热体用棒状石墨，隔热层

由钼 (Mo) 板与非金属隔热材料组合而成。加热完了, 通入冷却气体, 同时打开上部与下部之间的真空阀门, 使用真空密封马达强制搅拌冷却气体。气体的冷却通过安装在内部的热交换器来进行。

Lindberg 公司制造的此种类型的真空热处理炉, 设计了凹凸状 (波浪形) 反射板以提高反射效果。Brew 公司制造的 920 型的真空热处理炉的特点是把冷却用的气体抽到炉子外部冷却循环装置中进行冷却, 以提高工件的冷却速度。

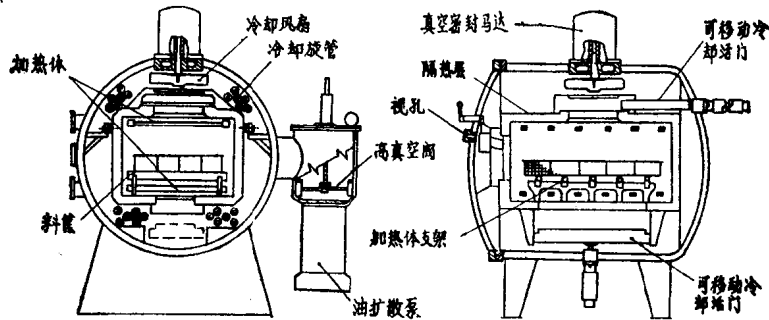


图 2 Ipsen 公司的 VFC 型真空热处理炉的内部构造

Ⅰ. 冷却室冷却真空热处理炉

图 3 是 Hayes 公司制造的 VCP 型气体冷却真空热处理炉。工件一经加热完了, 就移至冷却室中, 同时把冷却气体通入冷却室内, 用上部的风扇来搅拌冷却气体强制冷却工件。气体的冷却是通过气体接触整个被水冷却的炉壁来进行的。为了减少工件以外的多余的热量, 使用了数量较少高温强度优良的钼棒。

日本的デグサ公司的 VKUQgr 型炉子, 也是这种类型的, 在原理上是一样的, 其特点是不移动工件, 只移动加热室。尤其适用于钎焊等的操作。图 4 是其内部结构示意图。

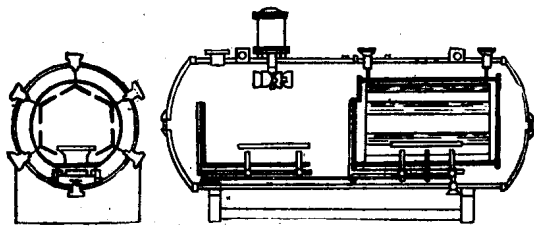


图 3 Hayes 公司的 VCP 型气体冷却真空热处理炉

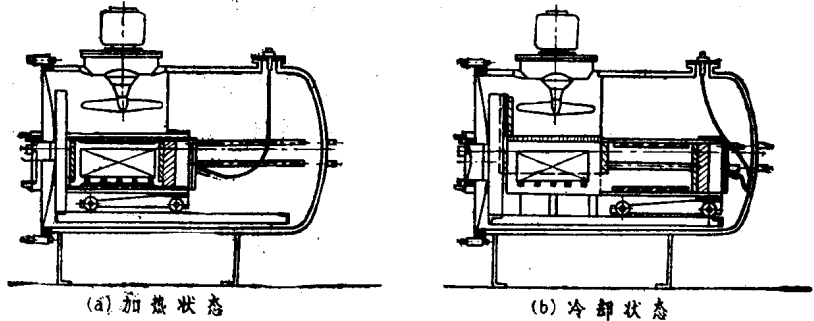


图 4 日本 デグサ 公司的 VKUQgr 型真空热处理炉的内部构造

■. 油槽冷却室冷却真空热处理炉

Brew 公司制造的 700 型油、气冷却真空热处理炉，用铝棒作发热体，用铝板 and 不锈钢板来隔热，它具有能获得高温与高真空度的特征。气体冷却时，工件在加热室内被强制冷却。油淬火时，则把中间真空阀门打开，工件从加热室垂直地进入油槽中淬火。加热结束后，工件在 5 秒钟内被投入油槽中，操作是采用程序控制器完全自动进行的。

图 5 是 Hayes 公司制造的 VCQ 型可以用油、气体冷却的真空炉，这种炉子构造简单，使用也十分方便。由于发热体是使用石墨布(罩)，所以辐射作用强烈，能进行均匀地加热。而隔热材料是使用数片重叠的石墨毡，所以热容量小，加热、冷却效率很高，轻而且耐热冲击。

图 6 所示的是在工作状态下炉内温度与真空度的关系。工件经冷却室，再进入加热室，关上中间阀门和入口门后，用旋转泵排气，到达 50 毛后，再用机械增压泵进一步排气，在 $3 \sim 4 \times 10^{-2}$ 毛的状态下进行预热，加热到 1000°C 时，为了防止金属的挥发，提高加热效果，就吹入惰性气体至 $1.5 \sim 2.0 \times 10^{-1}$ 毛，加热完了，把工件从加热室移至冷却室通入惰性气体到 500 毛。

气体淬火时，使用在冷却室上部安装的搅拌风扇进行强制冷却。油淬火时，把工件从冷却室用升降机构下降到油槽中，工件连筐一起进行油冷却。一旦冷却完了，就用油缸（油压机）升到冷却室，吹入惰性气体到一个大气压。把工件连同工件筐一起从炉中取出。工件从入炉到出炉全部自动控制。

图 7 所示的是油淬火与气体淬火时工件的运动状态。

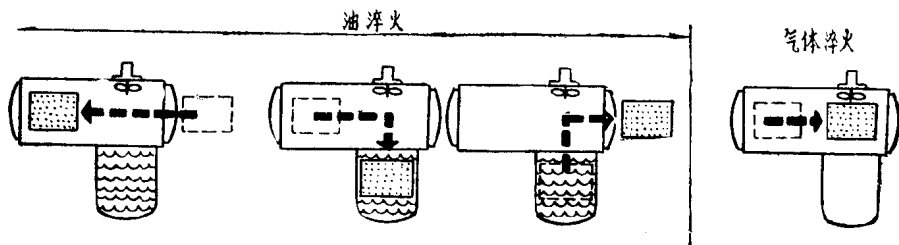


图 7 Hayes 公司的油淬火真空热处理时工件的运动状态

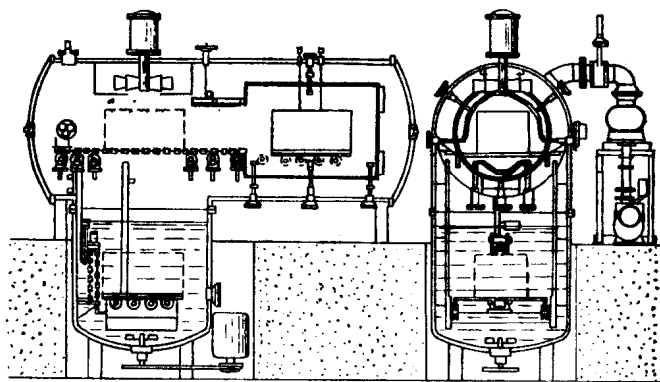


图 5 Hayes 公司制造的 VCQ 型油淬火真空热处理炉的内部构造

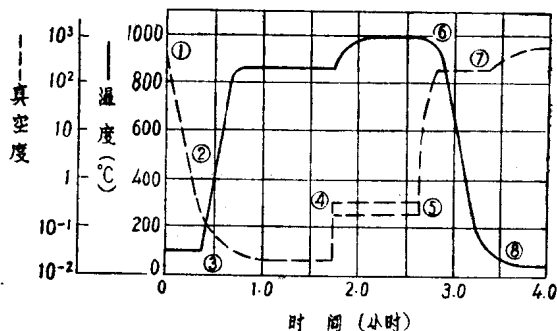


图 6 真空淬火炉的炉内温度与炉内压力的关系

图中：①旋转泵开始运转；②机械增压泵开始运转(50毛)；③加热元件开始工作(10^{-1} 毛)；④淬火加热($1.5 \sim 2.0 \times 10^{-1}$ 毛)；⑤淬火加热终了吹入氢气(5×10^{-2} 毛)；⑥开始冷却；⑦冷却完了，吹入氮气(7.6×10^{-2} 毛)；⑧取出工件。

Ⅳ. 水槽-油槽冷却真空热处理炉

由于钛合金, 铌 (Nb) 合金等的特殊合金的发展, 这些合金固溶化处理 需要进行水淬火, 就进一步要求比油淬火冷却速度更大的炉子。图 8 是 Hayes 公司的立式油-水冷却 两用真空热处理炉的内部构造。根据需要选用水槽或油槽。水槽与油槽安装在加热室的下部, 进行操作。

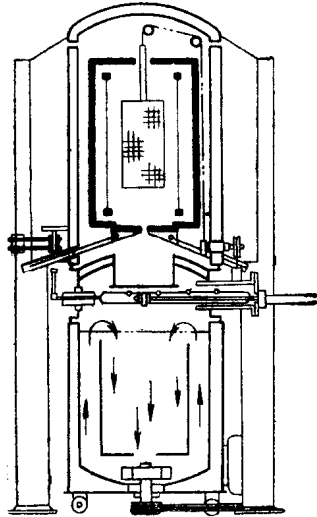


图 8 Hayes 公司的 VCQ-D 型油-水淬火两用真空热处理炉的内部构造

Ⅴ. 连续式真空热处理炉

图 9 是由 Hayes 公司制造的连续式真空热处理炉。炉膛高度 203 毫米, 宽 610 毫米, 长度 3048 毫米。用输送带能完全自动化处理。可以用于油淬火。尤其适合于粉末冶金零件或钎焊零件的大量生产。

Hayes 公司, Ipsen 公司, デグサ 公司和 N.C.R 公司等等对连续式真空热处理炉进行过一些工作。

Ⅵ. 真空回火炉

数量少、质量上要求不怎么高的工件, 用真空淬火炉进行回火也是可以的。为了缩短回火时间和保证回火时容易获得均匀的温度, 需要有理想的真空回火炉。一般的气体的热传导率和压强的关系是这样的: 在 10 毛以上其热导率随压强没有多大变化, 在 $10 \sim 10^{-2}$ 毛的区域内, 如降低压强, 则大致呈线性下降, 在 10^{-2} 毛以下随压强变化的趋势再次变小。

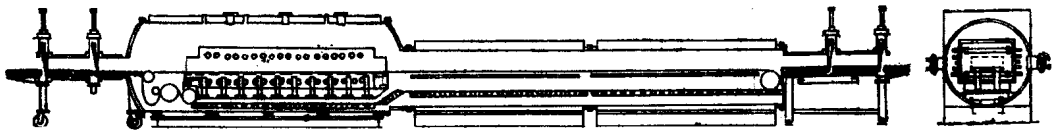


图 9 Hayes 公司的连续式真空热处理炉的内部构造

在 800°C 以上的高温进行加热时, 由于约有 70% 是辐射传热, 所以在真空中加热与在空气中加热其加热速度没有什么显著的差别。然而在 600°C 以下的低温加热时, 由于辐射传热的加热作用减小, 在真空中的低温加热需花费很长的时间, 而且容易出现不均匀现象, 所以, 真空回火炉预先抽到真空后, 再吹入惰性气体到 600~700 毛, 同时使气体强制搅拌, 以缩短加热时间和均匀地加热。除了容易产生回火脆性的钢外, 冷却速度一般不是什么问题。为了缩短冷却时间采用强制性冷却。

Hayes 公司制造的 VMHT 型的真空回火炉, 发热体使用钼丝和铌丝, 隔热材料是金属板与氧化铝等非金属材料 的组合。图 10 是 VMHT 炉运转时的温度与真空度的关系。

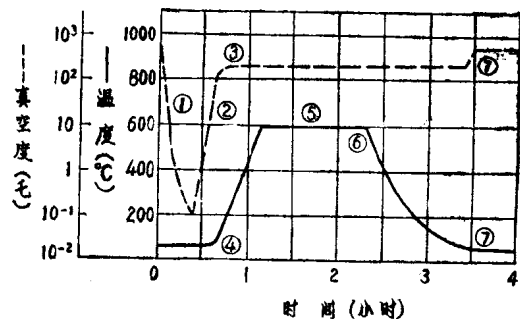


图 10 真空回火炉的炉内温度与炉内压强的关系
图中: ① 停泵; ② 吹入氮气; ③ 保持低压; ④ 加热元件开始工作; ⑤ 保温; ⑥ 冷却; ⑦ 取出工件;

四、真 空 系 统

为了在真空炉中建立所需要的真空度，必须有获得真空的手段。本节对真空炉的真空设备作一简介。

所谓“真空”是指低于一个大气压的气体状态。在早期，对“真空”的研究以及真空技术的应用只是个别学者在实验室中的事。只是在1873年白炽灯泡发明和后来各式各样的电子管的发明和大量制造以后，即与工业生产紧密的联系以后，真空技术才获得迅速的发展。

在白炽灯泡发明前，用以获得真空的手段主要是活塞式抽气机，并且只能抽到0.25毫米汞柱的低压。白炽灯泡发明之后，由于工业上的需要促进了真空技术的发展。各种的泵相继出现：旋转水银泵（1905年），油封旋转泵（1907年），分子泵（1913年）、扩散泵（1915年）。扩散泵的发明使真空技术跨入了所谓高真空（ 10^{-6} 毫米汞柱左右）的阶段，于是制造性能可靠的电真空器件所需要的高真空得以实现。抽气技术发展的第二个重要阶段是与近代尖端科学研究的需要分不开的。加速器、热核反应装置、真空炉等等都需要在大容积的空间中建立真空。60年代初期，在抽气速率的增大以及真空度的提高方面已有大的进展。抽气速率达数万升/秒的扩散泵抽气机已并不罕见。

对于任何真空炉的真空系统设计中，必须考虑到下列几个重要的因素：获得工作压强所需要的时间，要求的极限压强和在工作压强下系统继续排气速度的能力。钎焊或金属材料热处理要求相当短的均热周期，延长抽真空时间必然增加操作费用。在现在使用的许多材料的处理中，极限压强是一个重要的因素。在钎焊和烧结这样操作中，要排出大量气体，这时在工作压强下排气速度是重要的。

一般真空热处理要求的真空度为 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ 托，特殊的可达 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$ 托。

在讨论冷壁真空炉所沿用的不同类型的泵之前，讨论压强对于气体占据的体积的影响是有用的。从表1中可以获得压强对气体占据体积的影响的某些概念。表中的数据表明，为了保证真空炉的工作效率和便于操作，在获得 1×10^{-5} 托或更低压强的情况下，要求真空泵在比较短的时间内排除出大量的气体。

大多数冷壁真空炉所采用的真空系统是由机械泵和油蒸气扩散泵所组成的。在特殊的场合下，对于比较小的真空室采用吸收泵联接离子泵。机械真空泵仅能对大气压强进行抽空。机械真空泵一般分为两种类型即叶片泵和旋转活塞泵。旋转活塞泵（见图11）是应用最普遍

表1 压强对于气体的占据体积的影响

压 强 (托)	体 积 (呎 ³)
760 mm 汞柱 (大气压)	1
1 mm 汞柱 (1 托)	760
1×10^{-1}	7600
1×10^{-2}	76000
1×10^{-3}	760000
1×10^{-4}	7600000
1×10^{-5}	76000000

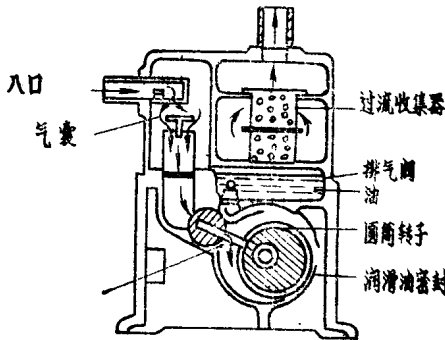


图11 旋转活塞泵

的粗型泵。旋转活塞泵是由圆形壳体和在其内旋转的偏心轮组成，偏心轮旋转并依次跟往复汽门连接。尚有另一类型的机械泵即通称为增压泵（又称为罗茨泵），在从 10 mm 汞柱到大约 1×10^{-8} 毛的压力范围内被用来增加泵抽速度，为了使它能正常地工作需要有一个适应于增压泵抽速并建立 10~15 mm 汞柱真空的旋转泵作为前置泵。通过油蒸气扩散泵可得到高的真空水平，这类泵用于需要有 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ 毛和更低压强的场合中。其工作原理是使泵内低蒸汽压的油沸腾，产生的油蒸气上升并堆积到一系列环形的喷口上，蒸气由这些喷口以超音速向外和向下运动，跟气体分子碰撞并压缩气体到机械泵或其他泵所能排除的程度。图12表示一个典型的油蒸气扩散泵横截图。

在炉膛和扩散泵之间插入冷捕集器可达到增加真空系统极限压强的目的。捕集器通常是由一系列呈山形符号排列的挡板组成，并且用冷水或液氮来冷却捕集器。在冷的挡板上可压缩的蒸气被聚集，因此，进一步降低压强。

对于真空炉而言，除了要求有合适大小的真空系统外，还必须尽可能地减少真空弯管喉道和所有粗糙的管道对气流所产生的阻力。而三通和 L 形管道更要尽可能地不予采用。

通过完善的真空系统的设计，炉子在 15 分钟内可达到 1×10^{-6} 毛的极限操作压强。

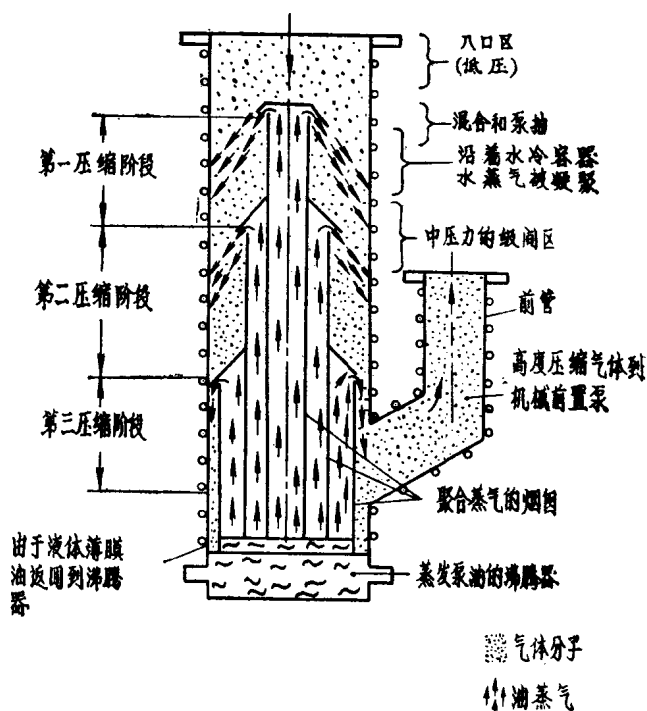


图12 油蒸气扩散泵横截图

五、仪 表

真空炉上用的温度控制和记录仪表很类似于其它类型的热处理炉上所沿用的仪表。在真空炉上广泛应用程序控制以实现不同的加热速度，保温时间和冷却速度。

正如温度的控制和记录一样，炉内压强的控制和记录显然是十分重要的。因此简单地介绍比较广泛应用的压力控制和记录仪表是有意义的。

巴顿（Bourdon）真空计被用来指示从正的几磅压强、大气压强和一直到约 25 毫米汞柱的绝对压强，它提供了一个对粗真空系统状态容易检查的方法。在真空炉上用的所有仪表中热偶真空计是最有用处的。它的工作原理是基于在低压强下气体的热传导与压强有关这一事实。绝大多数炉子在真空系统和真空室内的不同部位上使用两个或更多热偶真空计，当它们与分压强系统连接时，热偶真空计就被用来控制压强。热阴极电离真空计由于适用广泛的压力范围而被广泛应用，其原理是利用电子飞过稀薄气体时，与气体分子碰撞而发生电离，所产生的正离子电流与气体压强成正比关系，基于这种关系可以间接测量气体的压强。它们

安装有通过增加灯丝温度而自动为零的装置。由灯丝和管子放出的气体可通过真空系统而排除。冷阴极真空计和 α -粒子真空计（放射性电离真空计）的工作原理与热阴极电离真空计的基本相同，都属于电离真空计。冷阴极真空计能承受住大气压强的短期曝露，而且其元件是在电压约为2500 V下工作的，因此，绝缘是个问题。 α -粒子真空计依赖于少量的镭作为离子放射源，这类真空计用在比较高的压强下，并且对气体非常敏感，因此，它们对漏气的检查是有价值的。但是 α -粒子真空计与其他离子真空计相比有价格更昂贵的缺点。（在真空中由于氦气体的出现，所以必须要特别防止真空计的损坏，并随后使氦气散逸。）

上述只对获得真空的设备和真空测量仪表作粗略介绍，若需要进一步了解时可参阅有关真空技术的专著。

六、蒸 气 压

炉子的气氛对于在其中处理的工件表面状况如性能有很大的影响。如前所述，某一给定的金属在一定的温度和压强下，将被挥发。因此，要获得成功的真空处理，考虑真空炉构件和工件材料的蒸气压是完全必要的。蒸气压是物质跟它自己本身的蒸气平衡时的最大压强，蒸气压是物质和温度的函数。图13给出了一系列纯金属蒸气压（ p ）——温度（ T ）关系曲线。从中可以看出：譬如纯锰被加热到825°C左右，其蒸气压约为 1×10^{-4} 托，在这一温度下当锰被蒸发完前，要抽空到更低的压强在理论上是不可能的。如果材料被加热到更高的温度或者降低压强，在这样条件下保持某一时间金属将被挥发完，这一显而易见的问题将要出现，而且其蒸气将在炉子中更冷的区域上凝聚。幸而，这些蒸气压比较高的元素如锰和铬以合金形式出现，在很小量时，它们不起从纯金属那样的反应，但是存在挥发的趋势，因此，处理这些合金时应特别谨慎，不适合的真空处理，将使蒸气压较高的合金元素挥发，而导致真空处理后工件的性能和寿命降低。但是，这并不意味着这些材料在较高的温度下不能被处理。对于热处理和钎焊而言，这样高的温度是必要的。这时处理可以这样进行：炉子首先抽空到比较高的真空，在低于材料发生挥发的温度下预热，而后应用偏压强系统，应用惰性气体以增加压强到某一安全水平，而后再升温到所需要的加热温度。当然，所使用的气性气体应是高纯度的。对于偏压强或快冷中使用的任何气体中氧和水蒸气的存在，将使被处理的工件污染和变色，如果使用的是辐射屏蔽挡板型的炉子将要被损坏，这样在真空炉中处理工件的优点就被

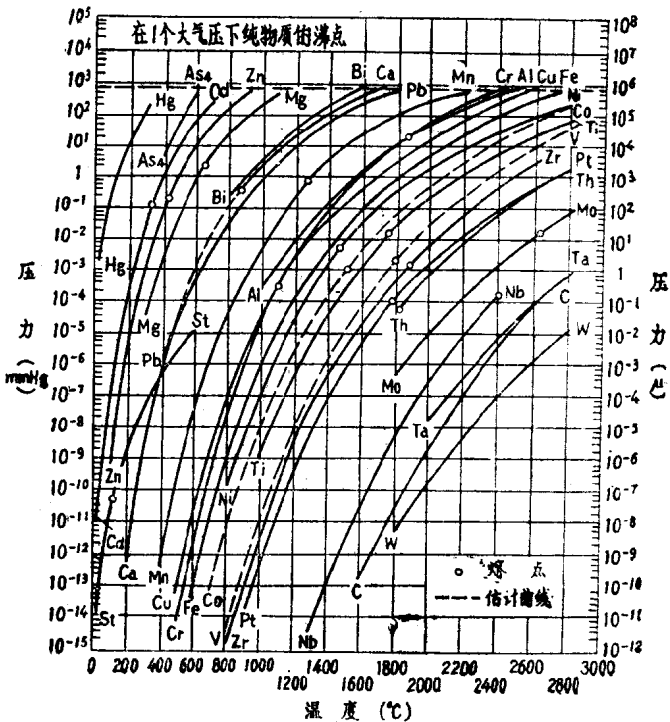


图13 金属的蒸气压

否定了。对于真空炉中的构件，发热体、隔热材料、夹具和淬火用油等等，都要考虑到采用材料的蒸气压是否适应于炉室的额定极限压强和最高工作温度，这方面的考虑在真空炉中已作了介绍。接受真空处理的工件在一定的真空度和温度下，其所含的气体，具有较高蒸气压的杂质和氧化物将分别发生脱气、挥发和解离。有害气体或杂质的脱气及挥发，是真空热处理后工件有更好性能的重要原因之一。工件表面氧化物的解离，使工件经真空热处理后具有光泽的表面。

总之，在真空炉设计、制造中以及工件进真空热处理时都要考虑到材料的蒸气压。蒸气压是真空热处理中所遇到的特殊矛盾。

七、真空热处理中应注意的事项

1. 防止脏东西带入炉内去，以免污染炉子。如在深拉延后零件所带的润滑油，切削过程中使用的冷却油，挥发性的金属或者那些不希望有的物体如线手套也可能无意中随着被处理的工件被带到真空炉中，将导致真空炉（特别是辐射挡板型）的污染，并且减少炉子的寿命。所以对于带有油迹的工件，一般在装炉前需要给予清洗。

2. 必须注意制造工件材料的蒸气压。含铬、锰的材料在真空热处理时要注意防止脱铬、脱锰、铜锌合金要防止脱锌。工件经过真空热处理后一般都具有更好的性能和寿命，但是也有降低寿命的个别例子，这可能与工件钢材在真空热处理时高蒸气压合金元素的挥发有关。如上所述，对于含有较高蒸气压合金元素的材料，在真空热处理时往往要到进惰性气体，以防止这些合金元素的挥发。

3. 真空加热（尤其在比较高的温度下）基本上是辐射加热。所以与可控气氛炉（对流）和盐浴炉（传导）相比，其加热速度缓慢。在周期作业炉中，工件的温度滞后于仪表上所指示的温度。并且，工件愈大这种滞后的倾向也愈严重。因此，对较大工件而言，必须预先求得滞后时间的数据，否则就得不到正确的加热温度和保温时间。图 14 表示了在油淬真空炉

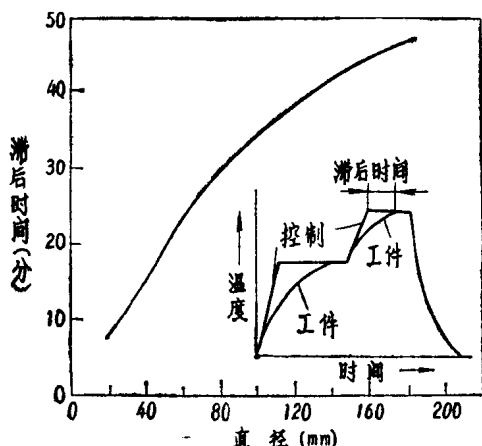


图14 油淬真空炉在奥氏体化温度工件大小对控制温度与工件温度的滞后时间的影响

中淬火时，奥氏体化温度和工件尺寸对控制温度和工件温度滞后时间的影响结果。图中的数据是采用从 25 毫米到 164 毫米的大小不同工件，在其中插入热电偶，在 880℃ 进行预热，当炉内温度和工件内外温度一致时，再升温到淬火温度（1020℃），通过一系列实验测得控制温度与工件实际温度的偏差数据。例如把直径为 40 毫米的工件，从 880℃ 升温到 1020℃ 时，控制温度达到 1020℃ 后 15 分钟，工件才达到这个温度。把这个滞后时间和保温时间相加，所得到的时间就是应该有的保温时间。

4. 工件的装炉方法和在炉中所处的位置。由于真空中的加热仅仅是辐射加热，所以要尽量减少工件背向发热体的面积。

为了防止工件在真空加热时互相粘连在一起，可在其间放些氧化铝粉。

八、真空热处理实例

1. AISI-410 的菲利普斯螺钉

用氢气炉进行淬火和回火时，硬度在 HRC39~41，具有 160~180 吋-磅的扭矩值。真空热处理时，在 1010°C 保持 25 分钟后，用纯氮气强制吹风冷却进行淬火而后回火，硬度是 HRC41~43，扭矩值变为 200~220 吋-磅。

2. AISI H-11 制的阀体

经真空热处理后的工件，拉伸强度达 180~195 kg/mm²。采用的下述热处理工艺：

- 1) 在加热前真空度抽到 1×10^{-4} 毛；
- 2) 检查漏气程度；
- 3) 进行二段预热，第一段预热 650°C，第二段预热 815°C；
- 4) 把炉内压调到 5×10^{-8} 毛；
- 5) 在 1010°C 进行奥氏体化；
- 6) 通入纯氮，当炉内压升至 100 mm 汞柱后进行吹风冷却；
- 7) 进行 565°C 二次回火。

3. AISI M-2 制的锯片：

首先去油污，为了防止变形，把叠起来的短锯片和长锯片装在有细长孔的夹具中，把工件连筐一起装入炉内。抽真空到 1×10^{-4} 毛，在 870°C 预热后，把炉内压升到 200~300 微米 (10^{-6} 米)，在 1218°C 保持 7~10 分钟后进行气体吹风强制冷却。

4. AISI M-2 的螺帽：

用普通的气氛炉进行过中间退火（在 760°C 保持 1 小时，冷到 730°C 保持 2 小时，然后用 40°C/小时的冷却速度冷却到 590°C 再进行急冷。）在以后加工时发生裂纹，在美国的 Black 和 Decker 公司一年里损失了三万吨。改用真空热处理后，几乎不产生裂纹，原因认为是由于材料中所含有的氢、氮等气体，在真空热处理时被排除，因而大大地增加了延展性的结果。

5. AISI 410 不锈钢制的螺钉

从 1010°C 进行强制气体吹风冷却，装炉量为 110 kg，处理操作总时间为 110 分钟，真空热处理比在氢气炉中进行处理的成本降低了 40%，而且机械性能大大地得到改善，例如：硬度从 HRC39~41 提高到 HRC41~43，破断前弯曲角度从 16~18° 提高到 25~35°，最大扭矩值以 165~185 cm-kg 提高到 205~230 cm-kg。

6. 氮化钢的脱氮处理

在 980°C 进行 10 小时的真空退火，0.3 mm 的氮化层被去除。

7. 高合金钢或者特殊合金钢的钎焊和淬火可以采用一次处理操作而同时实现。

8. 在氢气中不能热处理的钛及含钛不锈钢，可以通过真空热处理成功地实现光亮退火及钎焊。

9. 热加工用的冲模：

真空热处理的冲模要比可控气氛热处理的寿命高 75~150%。

10. AISI M-2 制的铣刀：

美国 Smitn 和 Weston 公司的实例：

尺寸：高度 76.2 毫米 × 直径 88.9 毫米，每个重 3³/₄ 磅，淬火后的硬度是 HRC63~64。

11. AISI M-2 制的冲头:

美国 Moore Drep Fogre 公司的实例: 长度 7 吋, 每个重 2 磅, 真空热处理后硬度 HRC 63~64, 整个热处理操作时间为 90 分钟。

12. AISI M-2 制的拉刀:

美国 Dumont 公司的实例。

单个重 6.6 磅, 尺寸: 长度 514.35 毫米 × 厚度 31.35 毫米 × 宽度 25.4 毫米。真空热处理后得到 HRC64 的硬度。

13. AISI M-3 制的冲模:

美国 Lycoming 公司的实例。重量: 60 磅, 尺寸: 381 毫米 × ϕ 63.5 毫米; 淬火后得到 HRC63~64 的硬度。

14. AISI H-12 制的模具的寿命。

经过真空热处理的模具与经过盐浴处理的模具的寿命是: 盐浴处理的最高模次是 6300, 最低是 3000, 而真空热处理的模次最高可达 15330, 最低是 9088。

15. AISI D-12 的模具的寿命:

经过真空热处理的模具是 14873 模次的寿命, 可是, 经过盐浴处理的模具的寿命仅有 6300 模次。

16. 经真空热处理后的 AISI D-2 钢的机械性能:

真空热处理	盐浴处理
拉伸强度 (磅/吋 ²) 316580	220600
屈服点 (磅/吋 ²) 220010	197560
冲击韧性 (呎-磅) 5.3	4.66
(V 型缺口)	
硬度 (HRC) 60~62	60~62

17. 真空热处理后冲头的变形

美国 Inos Tool Works 公司的实例:

尺寸 (吋)	真空淬火后 (吋)	真空淬火回火后 (吋)
ϕ 0.143	0.00000	+ 0.00011
ϕ 0.153	0.00000	+ 0.00014
ϕ 0.234	+ 0.00003	+ 0.00020
ϕ 2.832	+ 0.00043	+ 0.00239

18. SKD-11 的冲头的热处理工艺与变形:

热处理工艺:

淬火: 在 750℃ 保持 20 分钟, 真空度 $0.1 \mu\text{Hg}$, 然后用纯氮气升高炉内压至 $500 \mu\text{Hg}$, 在 1020℃ 保持 12 分钟, 吹氮气冷却, 在 200℃ 回火 2 小时, 结果:

硬度 (HRC) 57~59

变形量 (隋圆度): 最大: 0.08 mm;

最小: 0.06 mm。

19. AISI 440C 的电子计算机零件:

在 750℃ 预热 10 分钟, 真空度 $0.1 \mu\text{Hg}$, 而后通入高纯度的氮, 把真空度变为 $1000 \mu\text{Hg}$

在 1040℃保持 20 分钟后, 吹气冷却, 其后在 -78℃进行 30 分钟冷处理, 在 170℃回火 1 小时, 得到的硬度值是 HRC57~59, 变形量是 +0.013 mm。

20. SHK9 制的冷锻用冲头

尺寸: 长度 90~160 mm, 直径 ϕ 9~16 mm, 采用盐浴热处理时, 由于挠曲变形大, 因而加工余量在 $\frac{15}{100} \sim \frac{30}{100}$ 左右, 在处理后需进行磨削抛光精加工。可是采用真空热处理只有 3%~5% 的变形量。

21. 冷冲模 (中空式)

用真空热处理其变形量是 $-\frac{13}{1000} \sim -\frac{1}{1000}$ mm 这相当过去的盐浴处理变形量的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ 。

22. 油冷却真空热处理的实例:

1) T-1: 尺寸 ϕ 12.7 毫米 $\times$ 长 152.4 毫米, 淬火温度是 930℃保温时间是 30 分钟, 硬度 HRC36~37, 回火 480℃4 小时硬度 HRC37~38。

2) M-4: 尺寸 ϕ 25.4 毫米 $\times$ 长 111.6 毫米, 淬火温度是 1235℃保温时间是 5 分钟, 硬度 HRC65~66。

3) T-15: 尺寸 9.525 毫米正方 $\times$ 76.2 毫米长。淬火 1250℃6 分钟, 硬度 HRC63~64, 568℃回火 2 小时, 硬度 HRC67~68。

4) T-15: 尺寸: 31.75 毫米正方 $\times$ 117.8 毫米长。淬火温度 1250℃, 保温 8.5 分钟, 硬度 HRC64~65。

5) O-1: 尺寸: ϕ 38.1 毫米 $\times$ 长 50.8 毫米。淬火温度 815℃保温 30 分钟, 硬度 HRC 65, 170℃回火 2 小时, 硬度 HRC62~63。

6) S-1, 尺寸: ϕ 127 毫米 $\times$ 长 4.763 毫米。淬火温度 980℃, 保温 10 分钟, 硬度 HRC59~60, 345℃回火 2 小时, 硬度 HRC52~54。

7) 52100, 尺寸: ϕ 38.1 毫米 $\times$ 长 127 毫米, 淬火温度 870℃, 保温 40 分钟, 硬度 HRC65~66。

8) M-2, 尺寸: ϕ 25.4 毫米 $\times$ 长 76.2 毫米。淬火温度 1235℃保温 5 分钟, 硬度 HRC 65~66。

9) 4140 HRC52~54;

10) 4130 HRC48~50;

11) 416 HRC36~42。

12) 1075 HRC62.5~64。

13) 52100 HRC64~66。

14) 421 HRC52~53 (吹气冷却 HRC48~50)。

15) T-15 HRC64~65 (吹气冷却 HRC65~66) 回火后进行油冷却提高硬度 HRC3。

16) T-64 (钛合金) HRC38~40。

17) M-4 HRC65~66。

18) O-1 HRC65。

19) S-1 HRC59~60 (吹气冷却 HRC52)

20) M-2 HRC65~66。

21) D-6 (AC) HRC58~59)