

活页技术资料

1972

第3号

应用可控气氛的热处理

第一机械工业部情报所编

12355

56.C4

机械工业出版社

应用可控气氛的热处理

天津动力机厂 一机部机械科学研究院

前 言

伟大领袖毛主席亲自发动和领导的史无前例的无产阶级文化大革命是促使生产力向前发展的强大推动力。经过无产阶级文化大革命锻炼和成长起来的我国工人阶级和革命技术人员狠批了叛徒、内奸、工贼刘少奇的洋奴哲学、爬行主义，在伟大领袖毛主席所制订的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线指引下，技术革命、技术革新的丰硕成果不断涌现。可控气氛在热处理中的逐渐广泛的应用便是其中的一例。

热处理在机械工业中是提高产品质量，延长机器使用寿命的极为有力的工艺之一，因而进一步提高热处理工艺水平也是“节钢保钢”的有力措施。可控气氛在热处理中的应用已引起热处理工艺上的一场改革并取得了一系列的经济效果：

1. 由于减少或完全避免金属在加热过程中的氧化和烧损，可节约大量金属。大大提高材料利用率，例如钢材在热加工过程中的氧化和烧损率大约为 3%，也就是说，一个年产 1000 万吨钢的钢厂，每年由加热烧损失掉的钢材就要达到 30 万吨，这是一个多么惊人的数字。再例如在汽车制造工业中仅仅由于热处理造成的烧损占整个热处理零件重量的 7.5%，亦即每台载重汽车损耗钢材 40~50 公斤，每台轿车损耗 25~30 公斤；拖拉机制造中的热处理氧化烧损为热处理零件总重的 7.0%，每台履带式拖拉机的钢

材损耗为60~70公斤。而冷轧钢带（低碳钢和硅钢片）由于采取无氧化加热的热处理可节约达20%的金属〔1〕；

2. 由于减少或完全避免了钢材在加热过程中的脱碳，可显著提高零件的耐磨性和疲劳强度，因而增加了机器的寿命。其次许多要求严格的零件在氧化介质中热处理时，为了去除脱碳层对质量的影响往往要留出很大的精加工裕量。这既增加了钢材的消耗，又要增添大量的精加工设备（磨床）。这在轴承制造行业中具有重要意义；

3. 应用可控气氛进行钢件的渗碳处理，可使表面含碳量严格控制在合理的范围内，而且整个过程可以实现自动的调节。因而可以充分保证产品质量。这对于提高汽车，拖拉机齿轮等零件的使用寿命是非常有利的措施；

4. 可使零件表面得到光洁或光亮的效果，这可以改善表面质量，保证零件尺寸精确度，又可以避免零件在热处理后的繁重表面清理工作，大大减轻了工人的劳动强度；

5. 硅钢是变压器，电机，电器制造中的重要材料。硅钢中的含碳量愈低，其电磁性能愈好。而为了降低其中的含碳量必须进行长时间的脱碳退火处理。在这种退火过程中，既要避免氧化，又要达到强烈脱碳的目的。这只有在采取可控气氛的条件下才有可能。

近年来许多工厂、学校、科研、设计单位遵照**独立自主、自力更生**的方针，自行设计，制造了一系列各种类型和用途的热处理炉，有些已经投入生产，见到了初步效果。一机部机械科学研究院在参加上海地区可控气氛协作组的同时设计了一台较小型的特种类型的炉子——直立式热处理炉，及套管式吸热式气氛发生器。从1968年开始与天津动力机厂协作，经过该厂工人与革命技术人员的两年奋战，于1971年初安装调试完毕，已初步投入生产，

用于工模具的热处理。

可控气氛在热处理中的应用具有广阔的前途。目前这一项技术已列入一机部第四个五年计划的热处理发展规划草案中的重点项目。相信这一先进技术在群众性技术革命的基础上一定会在短期内更为完善,得到更为广泛的应用,使我国的热处理工艺和设备迅速赶上和超过世界先进水平。

一 套管式吸热式气氛发生炉

敢于创新或者是一味模仿外国产品是工业设计战线上两条路线斗争的反映。国外一般沿用的吸热式气氛发生炉反应罐大多是直通式结构,中间填充催化剂,混合气体由下边通入,反应气体由上边出来。这种结构的缺点是炉罐边缘和中心的温差很大,心部的吸热式反应不能够充分进行。这就更进一步限制了反应炉罐的直径。此直径一般不能超过 200 毫米。如果欲增加气体发生量就必须增加炉罐数量。我们通过对多种反应罐结构的分析研究,最后选择了套管的型式。其结构如图 1。

炉罐直径为 $\phi 200$, 至法兰边高度 1200 毫米,用厚 6 毫米的 Cr18Ni25Si2 钢板焊成。心部套管为 $\phi 50$ 直径的 1Cr18Ni12Ti 不锈钢,中间的热电偶管亦为 1Cr18Ni12Ti 钢管制成,直径为 25 毫米。加热炉采

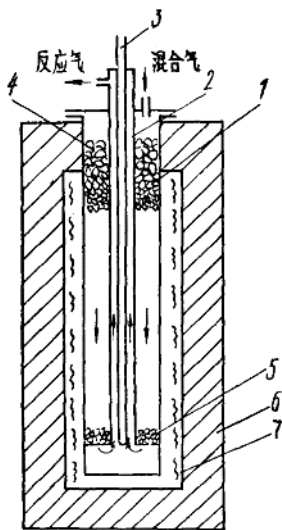


图 1 套管式反应罐示意:
1—反应罐; 2—内套管; 3—热电偶管; 4—耐火砖块; 5—催化剂; 6—加热炉衬; 7—电阻丝。

取三相 380 伏供电，设计功率为 30 千瓦。最高工作温度 1100°C 。

罐内套管下端焊有耐热钢制成的钢板，用以支撑上面填充的催化剂和耐火砖块。其具体的填充高度如图 2 (a)。为了使混合气体在侧面进口的情况下，均匀地通过催化剂层，采取了图 2 (b) 所示的喷口结构。

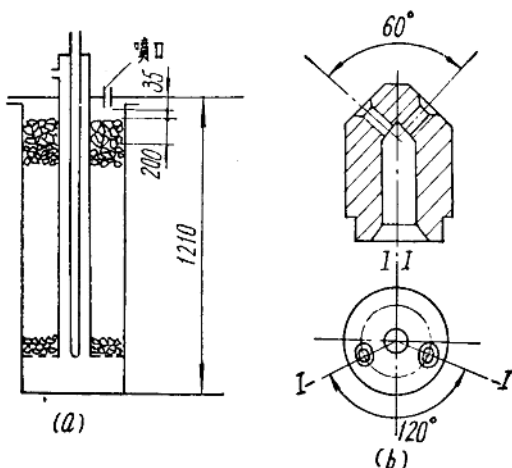


图 2 反应罐内催化剂及耐火砖块填充高度：

(a) 填充物高度；(b) 混合气喷口结构。

这种结构的反应罐设想的优点为：由于炽热的反应气体可使心部套管加热，因此能缩小炉罐中心和外壁的温差，使催化剂发挥最大的效能。图 3 即发生炉在正常通气的情況下，炉罐心部沿高度的炉温分布。

由图 4 可以看出，在吸热式反应区的炉罐中心温度与罐外热电偶指示温差最大只有 110°C ，也就是说可以充分保证供给气体在吸热式反应时所需要的大量热能。而在同等发生量的直通式炉罐

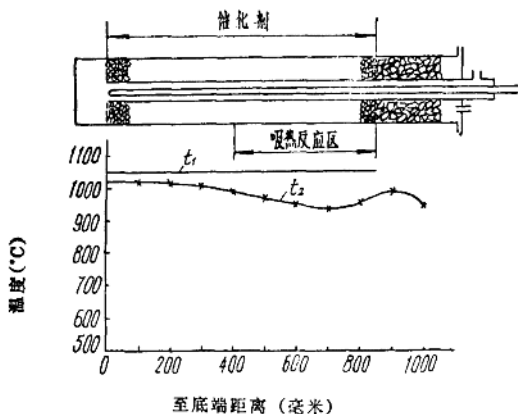


图3 发生炉罐中心沿高度的温度分布:

t_1 —炉罐外热电偶指示温度; t_2 —炉罐心部测量温度。

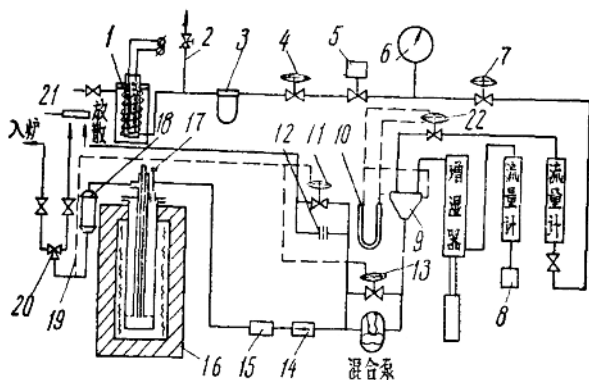


图4 制备吸热式气氛的流程:

1—液化石油气蒸发器; 2—放气管; 3—过滤器; 4—一次减压阀; 5—电磁阀; 6—电接点压力表; 7—二次减压阀; 8—空气滤清器; 9—混合器; 10—零压表; 11—放散调节阀; 12—喉管; 13—旁通调节阀; 14—逆止阀; 15—灭火器; 16—发生炉; 17—防爆头; 18—冷却器; 19—压力反馈管; 20—三通转向阀; 21—点火棒; 22—零压调节阀。

中〔2〕,此温差竟接近于 300°C ,心部最低温度可降至 800°C 以下。在这种情况下,心部的吸热式反应是极不充分的。

这台发生炉的最大发气量可达 $25\sim 30\text{米}^3/\text{小时}$,由此计算出的空速可以达到1000以上。由于实际用气量有限,生产使用过程中将发生量调到了 $15\text{米}^3/\text{小时}$ 以下。

反应气体自发生炉罐通出后,未予立即冷却,而是通过一段管道后在炉侧的水冷却器中冷却。这样可以使炉罐上部结构大为简化。虽然反应气体未予及时冷却,但在调节适当的情况下,并未发现有严重碳黑。

气体发生的流程示于图4。

由于盛液化石油气的容器容量不够大,而且石油气中丁烷的比例较大,自然的蒸发往往不能满足发生器用气的要求,这一特点在冬季尤为显著,所以在我们制备气体的流程中采取了快速汽化的方法。把液化石油气的液体导出来通过一个用热水加热的蛇形管使之升温加速汽化。水用电热器加热,保持 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的温度。这样在使用纯丙烷(丙烷量 $>90\%$)的情况下,可达 $6\sim 8\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 的压力。在以丁烷成分为主的石油气时,压力可达 $\sim 2\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 。

液化气经一次减压后到 $0.7\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 的压力。如果容量中液化气消耗殆尽,不能维持此压力时,由电接点压力表把控制电磁阀的继电器回路闭合,从而使电磁阀关闭,停止供气。二次减压由 $0.7\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 降到400~500毫米水柱,然后即可和空气在混合器中混合。

空气经过滤后,通过流量计进入增湿器。增湿器中充满小瓷环,从上部不断有水喷下,空气自下而上在瓷环表面与水接触,这样便可使空气中的湿度达到饱和的程度。所以经过增湿处理的空气湿度便不会受气候和季节的影响。

空气和液化气按预定的比例在混合器中混合以后用混合泵

(罗茨鼓风机)打入发生炉的反应罐中。在此处首先发生部分烃类气体和空气中氧的放热式燃烧反应产生 CO_2 和 H_2O ，然后在催化剂的作用下余下的烃类气体发生裂解，以及和 CO_2 、 H_2O 发生吸热式反应，形成 CO 和 H_2 ，反应生成的气体经冷却后通入加热炉中。

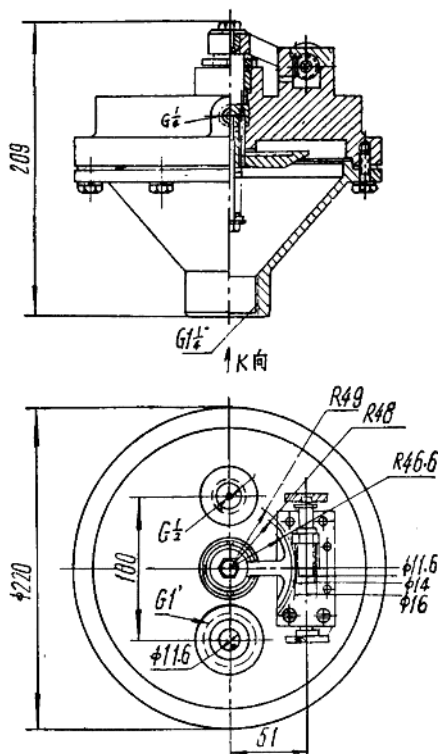


图 5 空气-液化气混合器。

靠薄膜调节阀可以实现制备过程的自动调节。旁通调节阀靠出口压力的反馈作用使气体发生量可以根据实际用量在一定范围

内波动，而不影响气体的比例。当用气量减少到一定程度时，为了不使断绝进气，避免气体比例的破坏，放散阀在压力反馈作用下打开，以使有足够量的气体通过混合器。

为了使通入的空气-液化气比例稳定和准确，必须使空气和液化气在通入混合器的压力相同，为此在液化气管路上安装有零压阀。这是一种特殊的薄膜调节阀，靠混合器进气口的压力以及阀本身弹簧的力量限制液化气管路上阀门开启的大小，以使在进入混合器时的空气和液化气压力差接近和等于零。

空气和液化气的比例在混合器上可实现微动调节，其结构如图 5。

混合气在进入发生炉前的压力为350~400毫米水柱，通出的反应气压力为300~350毫米水柱。

炉罐内所用催化剂系用氧化铝泡沫砖块浸硝酸镍溶液，然后经烘干，焙烧制成。催化剂的还原是在炉罐中经长时间的通气(在低露点的条件下)的方式完成的。

调试采用的液化气有两种：一种是南京长江炼油厂的丙烷(>90%)，另一种是锦西石油五厂的丁烷(丙烷+丁烷>80%)。经调试后得到的气体成分列于表 1 中。

表 1 吸热式气体成分

原料气体	气 体 成 分, %					空气/ 液化气
	CO	H ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	
丙 烷	24.0	32.0	43.6	0.4	0	7.7:1
丁 烷	24.0	32.3	42.7	0.8	0.2	9.5:1

可以看出，用主要成分是丁烷、丙烷+丁烷含量在80%以上的液化气制备的吸热式气体成分还是比较理想的。我们亦曾用烷

烃含量更低的气体进行过调试：丙烷+丁烷含量在 $<70\%$ 时，虽然在短时能得到接近于合理成分的吸热式气氛，但是极不稳定，而且在很短的时间内炉罐中就积存大量的炭黑，使混合气体进入反应罐前后的压力差迅速增大，从最初的70~80毫米水柱直到150~200毫米水柱。发生炉无法再继续工作下去。看来这种成分的液化气是不宜做吸热式气氛的原料气的。

二 直立式可控气氛热处理炉

自力更生，艰苦奋斗。这是伟大领袖毛主席向我们指出的中国工业化的道路。我们一定要牢记和遵循毛主席这一教导，依靠我们自己的力量不断革新工艺和设备，把机械工业的生产提高到一个新的水平。

我们从简化机械传动和提高炉子密封性的目的出发设计了直立式的可控气氛热处理炉。这种炉子可用于实验以及工模具的热处理，可以进行渗碳、碳氮共渗、光亮淬火、正火等工艺。可以采取手动的机械化操作，也可以施行各种工艺的每道工序间的程序自动化控制。炉子的设计技术规格如下：

工作温度—	常用	950℃
	最高	1100℃
功率—		30千瓦
电源—		380伏，50赫
联接方式—		三相，Y接法
炉膛有效尺寸—		300×300×350毫米
炉子外轮廓—		2700×1800×3400毫米
生产率—	光亮淬火时，	50公斤/小时
炉顶风扇马达—		1.5千瓦，1410转/分
油搅拌器马达—		2.8千瓦，1440转/分

油槽加热温度—	常用	120~150°C
	最高	180~200°C
油加热器功率—		24千瓦
油加热器数量—		6
加热器电源—		380伏, 50赫
加热器联结方式—		三相, Y接法
料台升降马达—		1千瓦, 1420轉/分
其它传动方法—		油压

炉子的大致结构如图6。整台炉子可以分为以下几个部分：

1) 炉顶，包括风扇和进气孔，顶部用楔形抗渗碳砖砌成拱形。

2) 炉身，包括内炉门及电热体。

3) 淬火油槽，包括升降机构，油搅拌器，冷却蛇形管，油

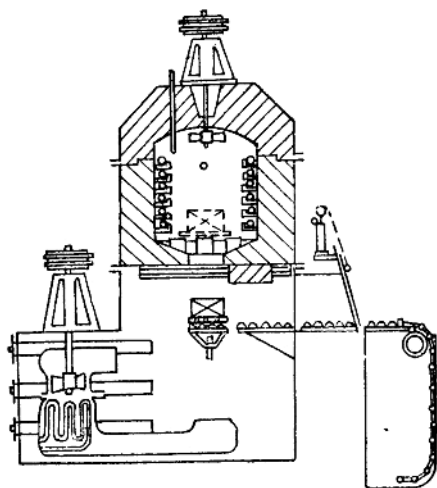


图6 直立式可控气氛热处理炉。

加热器等。

4) 前室冷却水套及进料炉门。

5) 进料台。

炉顶风扇用 1.5 千瓦马达带动。风扇轴及风扇叶片均为 Cr-Mn-N 铸件, 然后加工制成。为了防止热对风扇转动部分的影响, 轴承部分焊有水冷套, 由循环水进行冷却。

电热丝材料为 $\phi 4$ 的 Fe-Cr-Al (0Cr25Al5) 丝。经过数月的使用未发现有严重渗碳, 以致引起损坏现象。因此似乎可以认为 Fe-Cr-Al 丝表面不用涂料保护在渗碳还原性气氛中具有相当长的寿命。但是在 380 伏三相供电的情况下曾数次发生由于碳黑短路而形成的电击穿现象。由于击穿性的高温电弧会使电热丝局部熔化断裂。这种现象最容易发生在两相间接出部分, 也就是电压差最大的地方。当然解决这个问题的最好方法是使用带状发热体和降压变压器。但是在这种炉子结构情况下不易作这种改变。因此在最后采用了 220 伏单相供电方式, (将原来的三相并联)。这样一来, 功率并不减低, 但是却避免了电击穿现象。当然这种方式在供电上是不尽合理的, 如此大功率的电热设备, 最好还是能考虑三相平衡。

为了防止内炉门框加热变形, 以致炉门不易拉动, 在炉门框的炉身一侧焊有一个冷却水套, 用循环水进行冷却。实际上采用这种方式完全避免了炉门框的加热变形, 保证了炉门的活动自如。

淬火油槽位于炉身下部, 容积大约为 1500 升。内装有油搅拌器可使油在导向槽内循环, 在零件淬火时, 把油直接喷射在零件上, 以提高冷却速度和冷却的均匀性。搅拌器由 2.3 千瓦的马达带动。为了能施行热油淬火, 减少零件的变形开裂倾向, 油槽内设有 6 个 4 千瓦的电加热器, 分布在油槽的两侧, 可使油温最高升到 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$, 常用的油温保持在 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。油温过高需要

冷却时，可以靠搅拌器下面的蛇形管通以循环水冷却。油温用电阻温度计和自动平衡电桥实行自动控制。

料台升降的传动机构由 1 千瓦马达带动，马达的转速为 1410 转/分。减速机构由 1:30 的蜗轮蜗杆减速箱和链轮付构成。料台在油槽内沿 V 形导轨上下滑动，升降速度为 100 毫米/秒。料台的上、中、下三个位置由限位开关和电磁制动器控制。

内外炉门的开启与关闭均靠油压传动方式来实现。炉门外边设有一个自动进料台，进料机构由油缸、齿条、齿轮、链轮、链条和进料拉料钩组成。用齿条和齿轮将油缸活塞的直线运动变为圆周运动，齿轮带动链轮，链轮带动链条作往返进出料运动。

为了避免在进出料时，由于炉门开启大量空气进入炉内，在炉门外设有火帘。为防止由于操作不当造成炉内气体爆炸事故，在炉身和油槽的油面以上部分设有防爆口。炉身防爆口采取薄膜方式，油槽则为弯管油封方式，一旦炉内压力突然增加即可从防爆口处突破，防止压力继续增长，避免发生进一步的严重事故。

在此炉中可以完成的工艺程序有以下数种：

1) 光亮淬火， 300×300 毫米的由 Cr-Mn-N 材料铸成的料盘置于进料台上。装好需要处理的零件后，按光亮淬火程序操作按钮，前室炉门随即开启，火帘点燃，进料机链条将料盘推入炉中直到升降台中心位置。然后料钩退出，炉门关闭，火帘熄灭。待炉内气氛稍事恢复后，内炉门开启，升降台向上移动，将料盘送入炉内。此时置于炉外一侧的油缸活塞开始运动，通过炉内拨杆把料盘转动 45° 角。料台退回中间位置，把料盘平稳地放在炉内底部的四块耐热钢垫块上。随后内炉门关闭，施行被处理零件的加热。加热时间到后，内炉门开启（靠油缸拨杆传动），料台升起至炉内，将料盘托起，向相反方向旋转 45° 角，恢复原位，直接落入油槽淬火。与此同时，内炉门关闭，搅拌器开动。冷却完毕后，

料台把料盘升至中间位置，淋油片刻。外炉门打开，火帘点燃，进料台的电磁铁通电把拉料钩托起，料钩进入炉内，钩住料盘底部沟槽，将料盘拉出炉外。然后关闭外炉门，熄灭火帘。完成整个工艺周期。

2) 光亮正火，开始进料程序与光亮淬火相同。零件在炉内加热完毕以后，内炉门开启，料台升起到炉内，托起料盘，复回原位，下降到中间位置。拉料钩用电磁铁打好钩，通过前室炉门方孔进入炉内，将料盘拉出到前室中，水冷套通水冷却，零件在此冷透以后，用料钩把料盘退回料台原来的中间位置（因为此时前炉门未打开，拉不出料），料钩亦随后退回原位。然后前室炉门打开，打好料钩，伸入炉内将料盘钩出，前炉门关闭。

3) 渗碳直接淬火，与光亮淬火不同之处为在渗碳完了时有一个从渗碳温度预冷至淬火温度的时间。

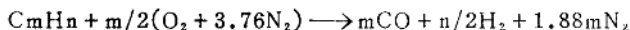
4) 渗碳后正火与光亮正火的顺序相同。

5) 碳氮共渗与光亮淬火的顺序相同。

三 工 艺 试 验

在可控气氛炉内进行的热处理操作要达到预期的目的（如光亮淬火、光亮正火、渗碳、碳氮共渗、复碳等），就需要控制炉内气氛的碳势。实际上就是把炉气的成分调整到与某种钢的含碳量相平衡（或者精确些说与高温状态下单相奥氏体中的含碳量相平衡）或者达到该操作所需求的含碳量。

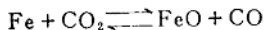
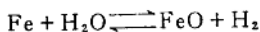
以主要含饱和碳氢化合物（丙、丁烷）的液化石油气为原料制备的吸热式气体，其化学反应通式为：



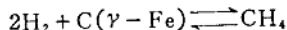
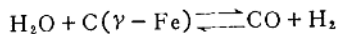
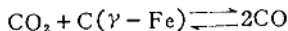
由此可见，反应生成的气体主要成分为 CO 、 H_2 、 N_2 ，此外由于反应进行的不完全，还会有少量的 CH_4 、 CO_2 、 H_2O 存在。

在这些气体组分上, CO 、 H_2 、 CH_4 属于还原性气体, 而 CO_2 、 H_2O 为氧化性气体, N_2 一般可视为中性气体。其反应方式如下:

氧化与还原

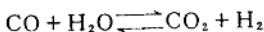


增碳与脱碳



由于这些反应是可逆的, 所以反应究竟向那一个方向发展, 取决于氧化性气体与还原性气体组分间的数量关系, 亦即取决于两种性质气体的比值, 即 $\left(\frac{\text{H}_2}{\text{H}_2\text{O}}\right)$, $\left(\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}\right)$, $\left(\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}\right)$ 。造成不氧化的条件是容易满足的, 也就是说 $\left(\frac{\text{H}_2}{\text{H}_2\text{O}}\right)$, $\left(\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}\right)$ 在比较小的比值下即可达到。而要实现不脱碳和增碳效果, 则要求更为严格的条件, 即 $\left(\frac{\text{H}_2}{\text{H}_2\text{O}}\right)$, $\left(\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}\right)$, $\left(\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}\right)$ 的比值还要大。因此, 所谓的炉气碳势的控制, 也就是控制这些炉气组分间的相对量。但是在吸热式气氛中由于燃料气体和空气的比例在一个很小的范围内变化, 所以 H_2 , CO 的量可基本认为不变, 那么要控制炉气的碳势只要改变其中微量组成 CO_2 , H_2O , CH_4 的含量就行了。

此外, 炉气中的 CO_2 和 H_2O 又有一定的相互制约关系, 这可由著名的水煤气反应来表示:



$$\text{其反应平衡常数 } K_w = \frac{P_{\text{CO}} \times P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{CO}_2} \times P_{\text{H}_2}} = \frac{(\text{CO}) \times (\text{H}_2\text{O})}{(\text{CO}_2) \times (\text{H}_2)}$$

式中, P_{CO} 、 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 P_{CO_2} 、 P_{H_2} 为这些气体在炉气中的分压,

(CO) , (H_2O) , (CO_2) , (H_2) 为气体的百分含量。

$$\text{所以 } (\text{CO}_2) = \frac{(\text{CO})}{K_w \times (\text{H}_2)} \times (\text{H}_2\text{O})$$

平衡常数 K_w 只与绝对温度的倒数 $\left(\frac{1}{T}\right)$ 成对数关系, 即

$$\log K_w = -\frac{3715}{T} + 1.627$$

应用此式可计算出各个温度下的 K_w 数值见表 2。

表 2

温 度 $^{\circ}\text{C}$	954	926	888	871	843	788
K_w	1.55	1.44	1.33	1.22	1.12	1.02

在我们使用丙烷或丁烷制备的气体中 CO 的含量大约为 24%, H_2 为 32%。如果选取炉罐内吸热反应区的温度为 954°C ($K_w = 1.55$), 便可根据上式得出如下关系:

$$(\text{CO}_2) = \frac{24}{1.55 \times 32} \times (\text{H}_2\text{O}) = 0.48(\text{H}_2\text{O})$$

或者 $(\text{H}_2\text{O}) = 2.06(\text{CO}_2)$

由此可见, 只要控制其中的一个量 (H_2O 或 CO_2) 即可达到控制碳势的目的。露点仪的原理即测量和控制 H_2O 量, 而红外线方法则测量和控制 CO_2 。

在我们的试验中用国产 QGS-03 型红外线仪测定 CO_2 量, 并用自制的 LiCl 露点仪测定水分, 用两种方法作了校对。实测结果与上列计算是基本符合的。

红外线仪具有反应灵敏, 测量精确, 不受环境条件影响等优点 (与露点仪比较), 是一种值得推广的测量控制炉气的方法, 但目前国产的红外线分析仪似乎还有必要进一步地降低价格, 以便于生产上大量使用。

在我们的试验和生产过程中是根据炉气的露点-碳势对应关系来控制炉气成分的。而使用露点仪时直接指示出的是平衡温度。

对于碳钢而言，炉气与表面含碳量在加热时大体平衡的实际平衡温度（露点）列于表3。

为了在光亮淬火和渗碳操作中便于根据工艺要求控制气体的露点，我们在小型管式炉中测定了850、930℃时的碳势-露点平衡曲线。气体露点的变化靠改变空气-燃料气的比例来实现。试样用0.1毫米厚的薄铁皮，在850℃时加热1小时，在930℃时加热0.5小时。然后在气体保护下迅速冷却，最后用化学分析方法定碳。试验结果如图7。

发生炉和工作炉经过一系列调整基本符合要求之后，针对生产需要进行了几项工艺试验，同时投入了小批生产：

1) 光亮淬火 根据不同材质和不同处理温度按表3和图7选取所需的气体露点（平衡温度）。例如45号钢在850℃加热所需的炉内气体平衡温度为42℃（露点约5℃），此时的CO₂量约为0.45%。这种钢的 $\phi 15 \times 50$ 试样在炉中加热30分钟后油中淬火。其淬火后的表面状态是令人满意的。

曾对5CrMnMo钢制热锻模进行了光亮淬火处理。炉内气体平衡温度保持在41℃，于850℃加热50分钟，然后在100℃的热油中淬火。淬火后模具硬度均匀，HRC59~60，表面状态也很好。

GCr15钢制空气量规，盐炉淬火时往往因中心孔被盐堵塞，成为清理时的难题，量规经常由于清除剩盐的钻头断折在中心孔内而报废。在可控气氛炉内的加热淬火使问题得到了解决。淬火加热时采取平衡温度30℃，CO₂0.25%，在850℃保持30分钟，油淬后硬度均在HRC62以上。

Cr12Mo钢滚丝模亦在此炉内进行了淬火。发生炉气体平衡温度保持在27℃，红外仪指示的CO₂为0.18%。考虑到Cr12Mo钢含碳量在1.5%以上，故在炉内通入了约1.6%的富化气，以降低露点，提高炉内气体碳势。该模具在1040℃加热45分钟然后施