

《国外热处理》征订启事

为了满足广大热处理工作者的需要,我们从1980年起将不定期地连续编辑出版《国外热处理》译文集,主要报导国外热处理发展动态,新工艺和新设备、基础理论研究、现场经验、新技术应用等。

取材范围,主要是国外热处理专业期刊及国外热处理会议文献等。

每集约12万字,今年预计出版六集并通过“科技新书目”向全国征订。

如订期已过,请向重庆市 2104 信箱发行组订购。

欢迎各单位或个人向当地新华书店预订。

中国科学技术情报研究所重庆分所《国外热处理》编辑部

《国外热处理》(五) 内容预告

目 录

热处理技术的现状与发展趋势

1978年美国金属学会热处理会议

渗碳钢的断裂抗力

高温渗碳钢的特性

用酒精制取热处理气氛

工业碳钢中块状马氏体转变动力学

冷轧轧辊淬火层中残余奥氏体的分布

钢表面层快速硬化的可能性和界限

热处理对1%碳-铬轴承钢中残余奥氏体的影响

最近的高速钢工具及表面处理工具

铸铁热处理强韧化

氧探头的理论和实践

新的模具热处理炉

深槽盐浴炉

氮基炉气和聚合淬冷液在热处理中的应用

腐蚀磨损后堆焊修复的汽轮机叶片的热处理

热处理108个问题(3)

国外热处理(四)

中国科学技术情报研究所重庆分所 编 辑

科学技术文献出版社重庆分社 出 版

重庆市市中区胜利路91号

四川省新华书店重庆发行所 发 行

科学技术文献出版社重庆分社印刷厂 印 刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 4.50 字数: 11万

1980年9月第一版 1980年9月第一次印刷

科技新书目: 176—127 印数: 6000

书号: 15176·430

定价: 0.50元

目 录

热处理设备的发展方向.....	(1)
气体氮化和气体碳氮共渗.....	(6)
氨基渗碳气氛的经济效果.....	(12)
在有连续再循环气氛的钟型炉内的光亮渗氮.....	(16)
氧氮化处理在高速钢新钢种上的应用.....	(19)
关于氮化钢再加热处理后的组织和硬度.....	(25)
用新型炉氛分析仪控制渗碳工艺.....	(31)
提高真空热处理的效率.....	(34)
埋齿于淬火剂中的渐进感应表面淬火.....	(37)
低温抗摩擦磨损处理.....	(40)
钢和有色金属的渗硼.....	(46)
高强度钢的增塑处理.....	(50)
ЭП557 合金的热处理与性能.....	(52)
440C型不锈钢轴承的热处理.....	(56)
钒钢过冷奥氏体等温分解后的组织与性能.....	(58)
淬火材料的形状换算.....	(61)
热处理108个问题 (2)	(69)

热处理设备的发展方向

丁. Wüning

1. 引言

最近, 热处理技术的研究工作明显活跃起来, 许多新概念新建议已为大家所熟知, 当然其中许多还需要经过验证。这种技术革新浪潮突然出现迟缓的原因是成本方面的问题(图1), 如能源费用、工资费用的超比例

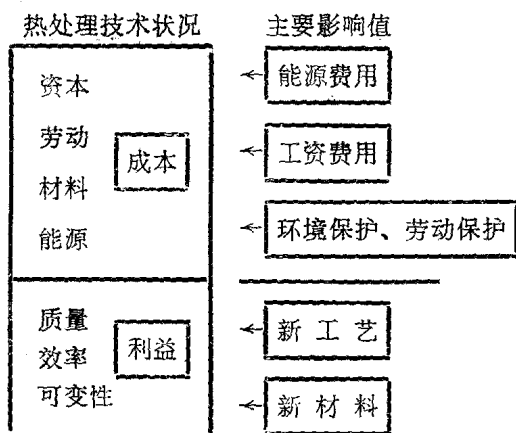


图1 对热处理设备发展的主要影响值

增长以及环境保护和劳动保护的开支。过去可以精确计算的成本收益情况, 今天由于这些因素影响而必须重新加以完善。例如昂贵的能源费用可以通过追加热回收费用部分地补偿。工资费用和自动化也与此类似。在有些场合, 这种增加投资的普遍趋向可能由于采用新工艺新材料而改变。

这里从五至十年后就会具体化的许多发展技术中挑选出三种具有较普遍意义的事例:

- (1) 高效空气预热节能措施;
- (2) 保护气氛技术的进一步发展;
- (3) 利用微型电子计算机实现过程自动化。

2. 利用预热空气节约能源

热处理节能课题已部分地得出这样的结论, 即尽量排除耗热过程。这时应想到炼钢需要的能源为热处理的10至20倍。因此, 从整个生产过程来看, 仅仅降低原料消耗, 即利用热处理使构件重量减少10%以上, 也就节约了能源。对改善可加工性能的热处理也应这样看。

热处理本身有很大节约潜力。应当特别强调降低炉子绝缘和料车方面热损失的措施。为了利用废气余热, 建议与低温设备如回火炉、洗涤机等配套使用。但是由于种种原因, 其中包括控制问题, 通过空气预热进一步回收废气热量却比较经济。图2表明, 随着废气温度升高, 在1000℃时的燃料利用率降低约5%。如果供给冷燃料, 即使空气充分预热($\epsilon = 1$), 其效率也始终低于100%。通常换热器在 $\epsilon = 0.3 \sim 0.5$ 范围内工作, 而新的高效空气预热设备在 $\epsilon = 0.6 \sim 0.8$ 范围内工作。与此相关的节约相当于效率之比。

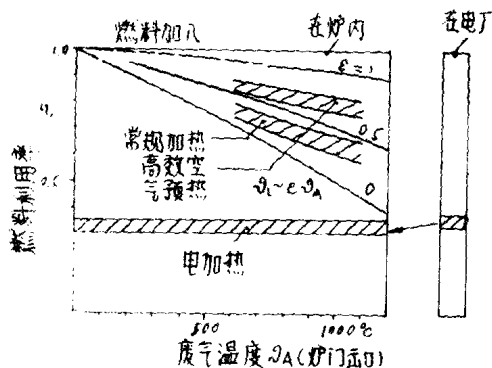


图2 热处理燃料利用率

当增加投资额为1000西德马克/千瓦吋,

绕道发电厂的能量约损失 2/3。因此，一旦主要应用公害较小的燃料，如天然气、液化气和轻油等发电（这一点在未来二十年内肯定做到），就应该把它们直接用于加热过程。当然其先决条件是电热相比，控制要同样精确，同样不大需要维护和同样可以操作自动化。

图3中的气体喷管满足这种先决条件。当功率为25千瓦和在900℃时，效率达到80%左右。新式高效换热器的一个良好附带作用是起消声器的作用，使燃烧噪声很难觉察出来。废气温度低也就降低了炉子现场对热的负担。具有点火和火焰监测装置的自动喷嘴的动作就是开和关，这样就不用费力监督控制混合比例。短焰冲击能量先由火管的陶瓷块储存，而后传给套管，因此在部分负荷时的套管温度波动只有几度（K），并可通过测量验证。有软管接头的整套喷嘴也可在工作时调换。利用附加的空气管道可以把喷管功能自动变换到强化冷却。

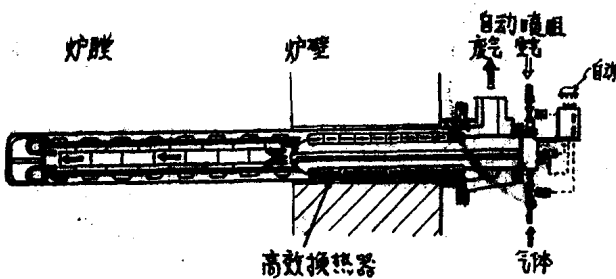


图3 具有自动喷嘴和高效换热器的气体喷管

好几百根这种喷管正装在不同炉型和不同温度范围中使用。在一台多用途箱式炉上进行了测量比较。将喷管由一般结构改成具有高效换热器后，其效率在900℃时从67%提高到81%，供气参数相同时，加热效率提高26%左右。

燃料直接加热的热处理炉至今仍很少采用换热器，应用中心换热器（图4）时，热空气必须经由绝热管道供给喷嘴，而这关系着热损失问题。此外，在装有许多喷嘴的多

段加热炉上还有喷嘴的分布和调节问题，以致费用和利用率就不成比例了。为此目的，近来也采用装有高效换热器的自动喷嘴。

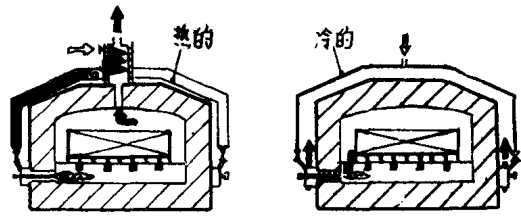


图4 直接加热时的空气预热法：
a) 中心换热器；b) 换热器-喷嘴

图5画出废气从炉壁区经由换热器排出。喷嘴有一喷口，将供给高冲力作用在燃烧气体上。这种喷射流以喷射的形式对炉氛产生强烈的混合和搅动作用。大家知道，应用这种高速喷嘴甚至可使大型回火炉温度误差保持在±5K范围内。

喷嘴效率图画出了预热度 ϵ 和效率 η 与供气关系。

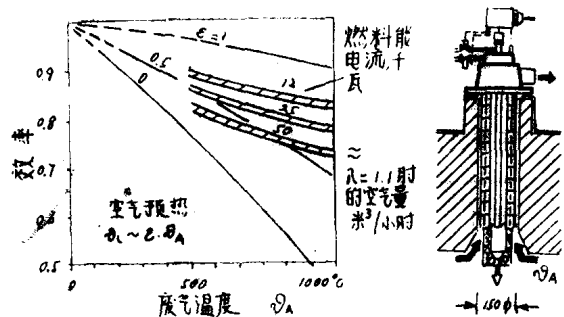


图5 具有高效空气预热天然气和液化气的自动喷嘴效率图

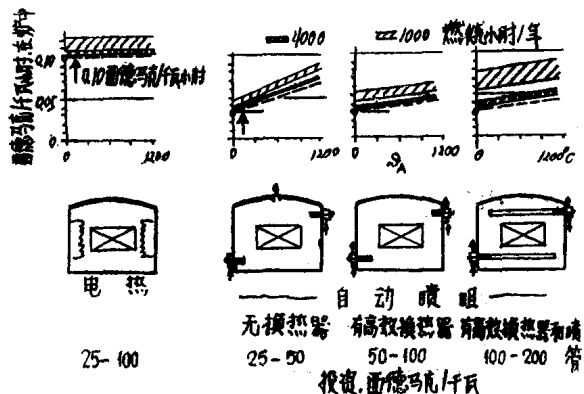


图6 加热方法的费用比较

与无换热器的喷嘴相比,在900℃时节能25—40%。一台甑式炉从年初开始应用此种喷嘴,通过测定证实了这一节能数值。没有出现温度分布、调节和维修方面的缺点。在各种箱式炉、连续式加热炉,特别是有色金属坩埚熔化炉中也可使用。

在比较加热方法时(图6),必须考虑每千瓦投资费用,包括每1千瓦加热功率时炉子加热装置连同全套配件、附件和管路费用,但不包括温度控制设备,这在所有情况下都假定是一样的。

电加热时大部分与应用变压器有关。采用自动喷嘴直接加热时的费用按以下次序递增:无换热器,有高效换热器和附加喷管。

燃料加热时,由于效率随炉温而降低,可供炉子利用的每千瓦小时的费用增加了。电加热的纯能源费用为10芬尼*/千瓦小时,燃料加热的为3芬尼/千瓦小时。这个比例最近不会改变。图上每年燃烧4000小时和1000小时的影线部分包括折旧、纳税和维修的附加费用,并假定这些占年投资的25%。

具有同等技术价值的喷管加热比电加热便宜约5芬尼/千瓦小时。对于每小时处理1吨钢的中型设备来说,这意味着每年节约10000西德马克左右。不过在使用时间很少,每年在500小时以下时,这种较高的费用是不妥当的。

在目前能源价格下,敞式燃料加热在温度超过600℃时,使用换热器喷嘴是值得的。从图6当中两个图上可以了解节约情况。

3. 继续发展保护气体技术

在从盐浴过渡到保护气体技术差不多结束以后,今天讨论的问题是用真空炉对低合金钢进行热处理是否也标志着一个新的发展阶段。其原因也许可以举出:利于环境保护以及费用和质量方面的优点等。但较详细的比较就显出有不少的差别。从原则上说,随

着压力下降热传导和燃气在炉料(特别是料堆)间的流动就越来越不利。真空热处理除成本昂贵以外,炉子结构在形状和大小上都受到严格限制,因为气体吸附作用,真空炉绝缘难以保持,所以一般耗能较大。水冷炉壁虽然对环境有利,但不应忽视由此被带走大量的热,因此只限于应用较贵的电加热。另一方面,保护气体炉的缺点是必需增加气体发生器,增加与此有关的开支和维修。炉门冒出的气体和火焰是有害的。砖墙炉子导热虽然较慢,但并不反对在保护气体炉上配用轻质纤维绝缘。

对比结果,真空炉热处理没有明显优点。中性气氛热处理正好相反,1巴压力的纯氮气氛在热处理碳素钢和中合金钢时和真空的惰性作用完全一样。降低反应气体分压不利于渗碳和氮化的气体流动。

因此,真空炉仍然应用于温度超过1100℃以上的高合金钢热处理。为了彻底改善保护气体工艺,要使它与在专用设备上试验过的新工艺结合起来。

首先以多用箱式炉为例说明这个原则(图7)。为了给炉门扫气,一般保护气体装置需要供给相当大的气量。为此目前着重发展使用运载气体的方法。从在设计上可比较的真空炉来看,要整个地抽真空并要向炉门送气以改善淬火时的热传导。渗碳剂不用运载气体直接通入炉膛。真空炉的建造费用比保护气体炉包括气体发生器在内的还大。

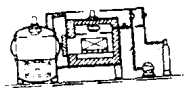
用真空炉门的保护气体炉把两种系统优



上:有扫气炉门的保护气体炉
(有扫气用的保护气体发生器)



中:真空炉
(保护气体来自气瓶)



下:用真空炉门的保护气体炉
(保护气体和反应气体来自气瓶)

图7 保护气体和真空技术结合的多用箱式炉例

* 芬尼:西德辅币名一译者。

点结合起来了。制造费用比普通保护气体炉还便宜，因为取消了气体发生器，抵偿了多花的开支。加热方式可以任意选择。中性气氛热处理炉由气瓶供给纯氮。利用循环促进炉料均匀加热。渗碳处理不需要运载气体，渗碳剂可按要求以碳氢化合物、酒精，甚至以粒状直接供给。用水煤气气氛 (CO/CO_2 , $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$) 渗碳能够精确控制渗碳过程，但必然发生表面氧化现象。用碳氢化合物 (CH_4/H_2) 渗碳时则相反。

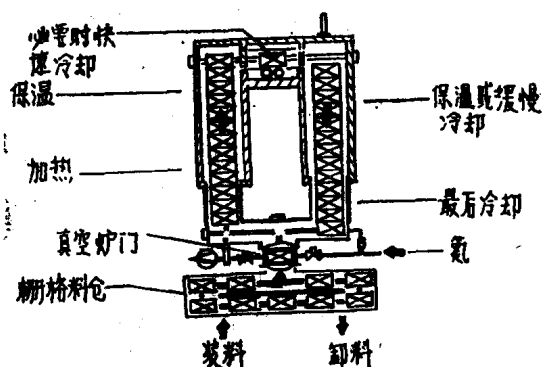


图8 用真空炉门的退火炉

保护气体炉的真空炉门的原理也可用于连续式加热炉 (图8)。为了简化供正火、退火、等温退火和 U 型铸件退火用的通用设备，把装料和出料口合并在一起。用于炉门扫气的氮气消耗量根据铸件的不同堆放密度仅1至3米³/吨。炉子本身要保持5毫巴左右的正压力就能抵消漏损。照这样设计，用于氧化和渗碳的中性气氛退火的费用几乎降到普通退火的水平。

淬火时炉子出料口被淬火介质封闭 (图9)。这种散装式淬火炉具有和真空炉门同样的优点。使用极少量保护气体时可由气瓶供

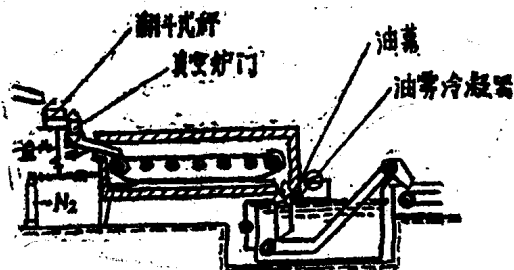


图9 用真空炉门的散装式淬火炉

应。最好使用酒精或碳氢化合物渗碳。排气道的油烟在冷凝器中冷凝。淬火炉设备费用比一般保护气体装置低，生产费用也是一样。这种封闭结构没有烟雾和火焰，改善了现场条件。

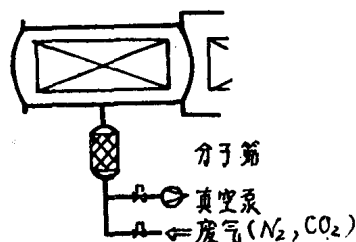


图10 有吸附装置的真空炉门

进一步简化的示意图如图10所示。虽然真空炉门扫气只消耗少量氮气，但由于使用气瓶或气罐增加了劳动量。如在真空泵抽气管道内安装吸附 CO_2 的过滤器，则可用废气进行炉门扫气。抽真空时过滤器能自动净化。利用一些附加设备也能使炉用氮气向过滤器分流。

大型退火设备真空装料已在实践中受过考验，应用于高2米、生产能力达5吨/小时的叠放盘条无脱碳退火的辊底炉。整个设备长70米左右，真空炉门直径2.5米。当露点低于-40℃时，氮气炉氛对退火件有绝对的中性作用。由于多年来取得这样良好的运转效果，这个原理也可以应用到其他炉型上并加以推广。

4. 利用微型计算机实现程序自动化

利用微型电子计算机实现热处理过程的完全自动化只是个时间问题。解决的办法是降低附属结构的造价。问题是：根据成本-利益图这种新工艺有哪些优点，还需要解决哪些问题。热处理设备的全部过程控制一般可以分为四个部分，温度调节、气氛控制、机械操纵以及故障报警和数据显示 (图11)。通常都采用单独的控制器、步进式机构和记录器等。

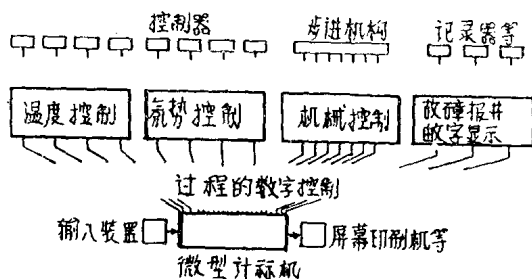


图11 利用微型电子计算机控制热处理设备的过程

对过程进行数字控制时，全部输入信号由微型电子计算机中心依次按节拍处理并给出相应的输出信号。其运算速度很高，即使在大型炉子上也绰绰有余。实际工作者认为集中化是缺点，但是可用双套装置予以克服。在这种温度时改进控制质量一般既无必要也不期望。程序中包括的在调节区段无需进行往往费时的匹配。在周期作业炉中实现复杂的温度-时间程序比较简单。不要太多的额外开支就可以将炉区分得更细。根据热力学方程可从若干输入参数中计算出气氛。此时计算机当然更好，因为它几乎可以说是附带完成这个任务的。

机械操纵部分取消了控制柜的布线工作。以后能够修改程序的可能性在某些场合下是有利的。

但是热处理过程数字控制的最重要优点在于不用额外开支就可以大大扩充故障报警和数据显示。当程序复杂时只有这一方法才能解决必要的质量保证和早期发现缺陷。尽管这是个前景，但不应低估单独为设备编制

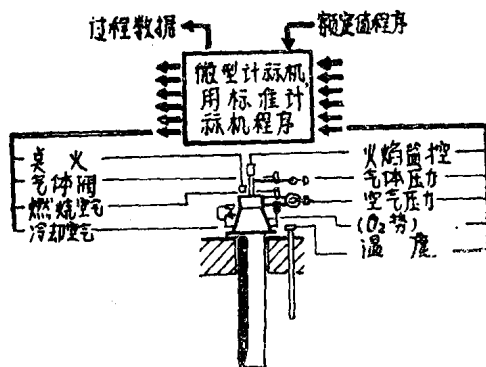


图12 具有标准计算程序的加热-冷却元件

程序的费用。这些困难只有将功能范围标准化才能克服。

设计第一节中叙述的喷嘴时，在加热-冷却功能上也考虑到过程的数字控制（图12）。准确规定了输入信号和输出信号的数字和特征。每个喷嘴都有自己的调节阀并直接连接到计算机上。标准计算程序用于按短焰冲击开关系统进行点火、监视火焰和调节温度，而与使用条件完全无关。以后只要氧探头价廉合用，就该用氧探头监测废气。

炉氛控制功能也可以标准化（图13）。氧探头和热电偶的信号由计算机处理，计算机就发出相应的调节指令给添加气体的供给阀。只有监视任务时，如在光亮退火时，就不发出调节指令。这个例子突出表明了电子计算机的优点。控制炉氛的费用仅包括氧探头和添加气体电磁阀。

图14是连接热处理设备实现热处理过程自动化的一个实例。每小时600个直径为50

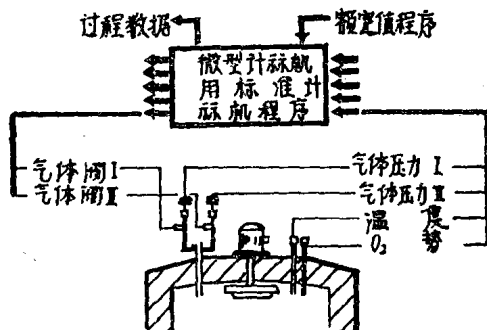


图13 具有标准计算程序的炉氛控制

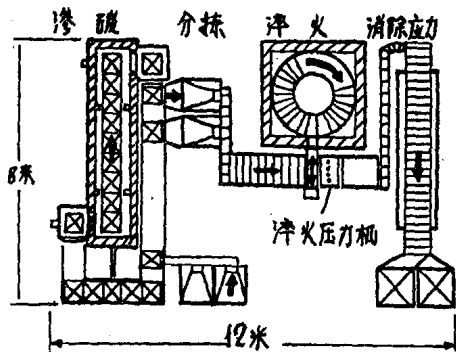


图14 渗碳与淬火压床单件淬火的联锁（每小时600个直径50至100毫米的圆环，淬硬层深1毫米）

气体氮化和气体碳氮共渗

K. Sachs D. B. Clayton

前言

氮渗入钢零件表面的工艺方法种类正在迅速增多,因此,设计人员或许无法确定该选哪一种;热处理工作者也遇到难于决定采用哪种操作的问题。

需要系统了解各种工艺方法所生成的表面层的特性,详细测定不同表面层的性质。氮化处理提供了极有价值的综合性能:

- 1.零件的表面极硬,而心部坚韧;
- 2.在所有表面处理中抗疲劳性最好;
- 3.耐磨性优良,摩擦小;
- 4.变形很小。

这些特性证实,对使用条件严苛的零件作氮化处理是合算的。

然而,目前工业上应用的普通氮化方法也有若干缺点:

至100毫米的圆环,先在连续式加热炉里渗碳,而后冷却、分拣,最后从回转式加热炉自动进入淬火压床淬火。接着清洗、清除应力和图上未画出的检验。操作人员只要把成品装在料筐里运走即可。控制和监视这样复杂设备是计算机中心的一种典型任务,控制温度和炉氛就采用上述标准计算程序。增加故障报警和数据显示是实现质量水平稳定顺利生产的先决条件。

5. 结 论

近年来由于能源、工资和环境保护费用的急剧增长,热处理技术的发展目标十分明显。本文用具体建议表明,降低成本至少部分地可用新工艺来实现。因此,现代化炉子

1.氮化处理所需时间很长(常为24—72小时),费用昂贵;

2.零件表面生成脆的“白亮层”,这可能使支承表面剥落和损伤;

3.普通氮化必须应用特种钢,提高了成本。

普 通 氮 化

普通氮化是在零件淬火回火后进行的,零件用特种合金钢制造,诸如708A37(En19B), 708A42(En19C), 905M31(En41A), 905M39(En41B)和897M39(En40C)。零件在氨气中加热16—72小时,在气氛中或氮气中冷却。工艺过程的效率取决于氮势,而氮势则决定于处理温度下氨的分解率和流量。

氮化层由薄“白亮层”和富氮的铁素体区组成,并为氮化铬和(或)氮化铝的沉淀质点所硬化。沉淀物引起表面层产生压应力,

主要有如下特征:

(1)炉热利用良好,亦即装料等辅助工作的热损失很小;

(2)利用自动喷嘴气体加热和高效空气预热,这种方法在整个温度范围内都比电加热便宜得多;

(3)利用价廉而有利环境的炉门新技术进行1巴压力下的保护气体和反应气体操作;

(4)利用微型计算机进行过程控制的优点是监控得更好,尤其在复杂的设备上。

运用成本-收益分析,和旧有设备进行比较,在许多场合下得到的结果说明,值得为热处理生产自动化追加投资。

原载《HTM》, 1979, 34, №3, 105—109。 [包友清译 姜勋昭校]

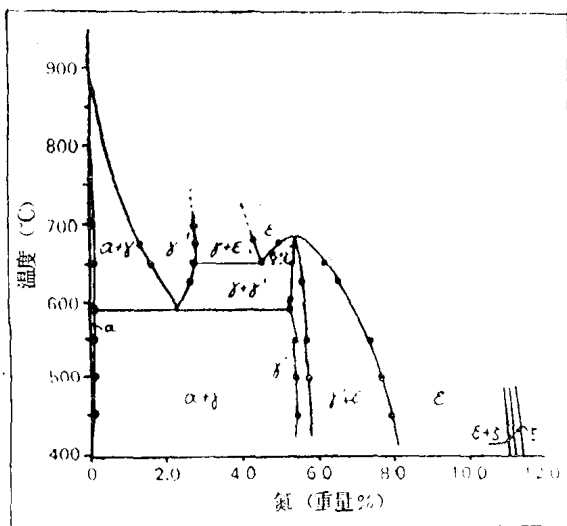


图1 铁-氮系平衡图

使氮化零件具有优良的抗疲劳特性。

氮化层的组成，从铁-氮系平衡图(图1)便可一目了然，从表面到心部存在着氮含量逐渐减小的一系列相：

1. Fe_2N — Fe_3N —— ϵ 氮化物；
2. Fe_4N —— γ' 氮化物；
3. $\alpha[\text{N}]$ ——富氮铁素体；
4. α ——铁素体。

ϵ 和 γ' 两种氮化物组成了白亮层。

氮化处理的温度范围取决于氮分解率，扩散速度和沉淀物大小的相互作用。在450℃以下，扩散很慢，形成渗层需要的时间很长。在540℃以上，氮分解率增大，氮势下降，结果因浓度梯度减小，扩散减慢；而且，合金氮化物颗粒长得比较粗大，减弱了弥散硬化的效果。如果为了获得较厚的渗层、较低的硬度最高值，则提高温度，增加氮气流量，可使氮化过程加快。也可利用专门技术——离子氮化或等离子氮化来提高氮势^[1]。

白亮层

白亮层由于有剥落的危险必须予以消除。在特殊应用场合如刀具，白亮层在工作中被磨损掉，不造成损害。消除白亮层最常用的方法是研磨，但成本高故而研究了多种

专用方法：

1. 在氰化物热浴中保温，而后喷砂或喷蒸汽清理^[2]；

2. 控制好气氛，保证氮势与饱和铁素体而不与 Fe_4N 相平衡^[3-5]。实验室试验证明，当把这些方法试用于含铬钢时，渗层的厚度与硬度反常；但是，这个原理是美国钢厂光亮氮化法的依据^[6]；

3. 控制氮势较好的方法是离子氮化或等离子氮化^[1]，可节省时间，但设备投资费用高；

4. 最后，先生成白亮层，后用氮气^[7]或氢-氮混合气^[8]代替氨气，再使白亮层减少。在500℃下，要有效地减少白亮层，至少需要15%的氢；在540℃下，据说只用氮就有效^[7]。但我们在实验室用此方法做过试验，至今未获成功，即使在氮气中处理24小时以后也是如此。

另一条途径是设法生成即不剥落、摩擦磨损特性又好的表面层，这是各种盐浴软氮化处理(如Tufftride)的根据，对在氰化浴中生成的这个“有益”白亮层的观察表明，它由 ϵ 氮化物加上痕量固溶碳和(或)氧组成。近来，已发展了各种气体处理方法来获得这种含碳的 ϵ 氮化物。氨气中添加渗碳气体如吸热式气体^[9]或添加氧化性气体如商用氮气^[10]，或者氧化和渗碳的气体一起添加^[11]，在这类气氛中于570℃下处理2—10小时(温度较高、时间较短)，得到了这样的表层。最近有人提出^[12]，不必添加特殊的气体，只要在570℃适当控制氨气流量就可得到可能由纯 ϵ 氮化物组成的“有益”白亮层。另一些研究者发现^[13]，气氛中的氧影响白亮层中 ϵ 相的百分数，在560—580℃温度范围，影响最大。我们的研究表明，在500℃高氮势气氛中，得到的表层是 ϵ 氮化物，下层是 γ' 。

如果有下面两种情况的话，所有观测结果会一致：

1. 剥落损伤是由于 γ' 的存在，没有 γ' ，

剥落损伤就不发生;

2. 在高氮势下, ϵ 与 α 铁素体之间的 γ' 中间层, 在 500°C 下不变, 但在 570°C 下靠 ϵ 的快速成长, 实质上被吸收了。

这些观点仍需用实验来证实。下面叙述第一个措施。

碳氮共渗的碳钢

对于低摩擦比硬度更为重要的那些应用场合, 主要的要求是要“有益”的白亮层而不是靠合金氮化物的弥散硬化。这就不必用特种氮化钢。“Tufftride”软氮化的早期经验指出, 软钢和低碳钢的效果最佳。而且明显的是, 固溶于铁素体的氮, 尤其当零件淬火足够快以致氮保留在固溶体内, 并在冷却时也不析出 γ' 氮化物针的情况下, 大大提高了钢的抗疲劳性能和表面硬度。在适当的气体中处理后, 渗层的组成和结构相同时, 其性能也相同, 这是不足为奇的。

然而, 低碳钢碳氮共渗后表面硬度确实低于氮化钢氮化后的硬度, 而疲劳性能却似乎相近。合金钢如 708A42 可进行碳氮共渗。在富氮铁素体内生成了合金氮化物, 因为在 570°C 生成的氮化物比 500°C 形成的粗大。如果钢缓慢冷却, 其硬度就比普通氮化后的为低。假如零件淬火快得足以使氮过饱和固溶在 α 中, 则固溶强化补偿了氮化物稍粗大的影响, 结果, 硬度 (或许疲劳性能也同样) 等于普通氮化所得值。碳氮共渗结果使软钢和碳钢摩擦磨损特性良好、相当的表面硬化; 氮化钢碳氮共渗处理后进行油淬则有极硬的渗层 (与氮化后的相似)。在氨气中 570°C 短时间氮化, 假如表面只形成 ϵ 氮化物, 而且纯 ϵ 氮化物不剥落, 大概也可能达到所有这些效果。

有可能把处理温度提高到 750°C 。假如不管氨气在这个温度范围的快速分解而采取了保持高氮势的措施, 可使足够的氮溶入铁形成奥氏体 (见图1)。淬火时, 奥氏体转变为含氮马氏体, 形成了硬的表面下层。据称^[14], 这一层也能低抗点荷载。据说外层是

“有益”的 ϵ 碳氮化物。关于在此温度范围内只在氨中进行的氮化, 还没有报道过。

实 验 方 案

实验方案中包括了几种气体处理方法, 概括如下:

1. 氨气中氮化, 温度范围 $490-540^\circ\text{C}$ 。
2. 先氮化, 再通氮或氮-氢混合气体, 使“白亮层”减少, 温度范围也是 $490-540^\circ\text{C}$ 。
3. 在 570°C 下氨气中氮化。
4. 在 570°C 下氮-碳氢化合物气体中碳氮共渗。
5. 在 $650-700^\circ\text{C}$ 温度范围内氮化。
6. 在 $650-700^\circ\text{C}$ 温度范围内碳氮共渗。

实验方案的目的是试验各种氮化处理方法的有效性, 并确定氮化层和碳氮共渗层的性能。其方法是, 在 500 、 540 、 570 以及 $650-700^\circ\text{C}$ 不同温度下生成含 γ' 、 ϵ 的氮化物表层和含 ϵ 的碳氮化物表层, 并以相当于不同规则截面零件空冷和油淬的速度冷却, 然后评定渗层的表面硬度, 剥落情况, 疲劳强度和耐蚀性。实际的试验计划没有完全包括这些变数。研究工作尚未结束。以下各节介绍一下进度情况报告。

白亮层的组成

500°C 普通氮化形成的白亮层, 由 γ' 和 ϵ 两种氮化物混合组成。 570°C 碳氮共渗产生的白亮层以 ϵ 为主。重要的是应当确定这种变化是否是温度抑或气氛所致。如果为了获得 ϵ 相的“有益”性能, 碳或氧的存在绝对必要, 则气氛显然也极其重要。

估计碳氮共渗层中的碳量可达 2.5% ^[15]。我们的试验表明, 软钢箔在 50% 氨/吸热式气体的气氛中, 于 570°C 碳氮共渗 16 小时, 该层完全为 ϵ 相, 碳量仅 0.35% 。

下一步是比较碳氮共渗和氮化得到的 ϵ 相。722M24 (En40B) 钢试样在 570°C 氨中氮化 3 小时, 一些试样淬油, 另一些试样在炉内气氛中冷却。对原始表面和用磨削法逐次剥

去薄层直到基体金属所暴露的各层表面进行X射线衍射分析。发现, 所得 ϵ 层中痕量 γ' 存在于分界面, 渗层的厚度也不如碳氮共渗试样。低碳钢045M10(En32)试样用相同方法在570℃氮化, 渗层较碳氮共渗的薄, 由 ϵ 氮化物和痕量 γ' 组成。

把温度升高到奥氏体区域作进一步试验。低碳钢045M10(En32)试样在700℃碳氮共渗, 油淬, 渗层由 ϵ 氮化物表层和含氮奥氏体次表层组成。在与心部材料的分界面附近, 含氮奥氏体已转变为马氏体, 由于分界面处氮含量相当低, 使得油淬时可以发生此种转变(图2)。该试样在300℃时效1小时后, γ' 在奥氏体区域沉淀析出, 在“白亮层”邻近发生了某些转变(图3)。在氨气中实施这个工艺时也得到相似的结果。

图4说明, 在570℃氮化同500℃氮化相

比, γ' 少得多。 γ' 受到有效抑制是由于存在碳氢化合物之故。在实践中, 只有当氮化层内残存 γ' 有害时才需要这种添加剂。

为了区分 ϵ 与 γ' 白亮层之间的脆性有何差别, 试过两种方法。用扫描电子显微镜和光学显微镜观察了氮化和碳氮共渗拉伸试样拉断后的断口, 以找寻剥落的痕迹, 了解断裂的方式。根据 Lilienthal^[16]提出的检测渗硼试样的方法, 对处理过的试样进行磨削, 检定磨削边缘。这两种方法都没有显示出不同组成的白亮层在性态上有什么重大区别。

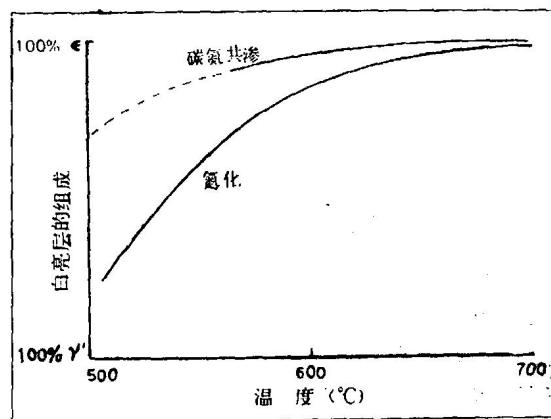


图4 不同温度下氮化和碳氮共渗所得“白亮层”的组成示意图

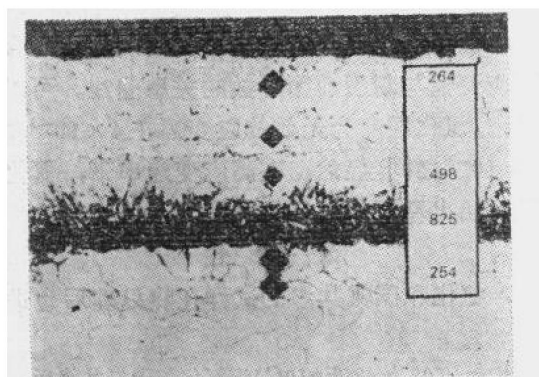


图2 045M10(En32)钢在700℃碳氮共渗3小时后油淬的显微组织(长方框中是维氏显微硬度值)

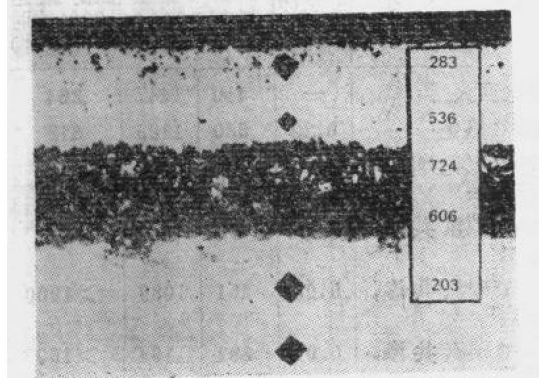


图3 同图2, 在300℃时效1小时后的显微组织

表面硬度

表1列出表面硬度的比较资料。特种合金钢普通氮化后的硬度值最高。En32钢通过生成氮-奥氏体并从700℃油淬得到马氏体, 显微硬度为HV825。但是, 这在用10公斤负荷测定的表面硬度值上并没有反映出来。测量值稍稍低于同种钢570℃碳氮共渗后的硬度。然而在时效后, 由于“白亮层”转变和 γ' 在奥氏体中沉淀, 导致硬化, 表面硬度增高(见图2、3)。

这些数据表明, 零件从700℃油淬, 由于形成较厚的马氏体层, 表面硬度大大提高, 而低碳钢在570℃碳氮共渗生成的内层, 其内部硬度仅HV300左右。碳氮共渗优于700℃处理之处无疑是它避免了心部过度回火和变形的危险。

表1 各号钢在不同氮化处理后的表面硬度
HV(10公斤)

处 理	钢 种	045M10 (En32)		708A42 (En19C)		772M24 (En40B)	
		油 淬	自然冷却	油 淬	自然冷却	油 淬	自然冷却
500℃氮化		—	—	630	—	862	—
500℃氮化后作 减少白亮层的 处理		—	—	593	—	823	—
570℃氮化		262	—	568	817	717	—
在氮和吸热式 气体中碳氮共 渗, 570℃, 3 小时		306	629	530	785	601	—
碳氮共渗, 700℃, 3小时		296	—	—	—	—	—
碳氮共渗, 700℃, 3小时, 再在300℃时 效1小时		337	—	—	—	—	—

合金钢比起低碳钢来,在570℃下氮化和碳氮共渗,都能形成更硬的渗层,氮化稍为更有效些。合金钢从570℃油淬较之“自然”冷却,有硬得多的表面。这个观察结果有助于短暂检定冷却速度的作用。

应用直径1英寸和 $\frac{1}{4}$ 英寸的708A42(En19C)钢试样测定了炉冷、“自然”冷却、油冷条件下的不同冷却速度。500℃的冷却速度或是测定,或是根据Atkins等人^[17]的资料估计的。

表2所列数据表明,要获得可与普通氮化相比的硬度,冷却速度需为7℃/秒。对大多数实用零件来说,这意味着油淬。

疲 劳

在计算机控制的伺服液压式 MTS 材料

表2 冷却速度对表面硬度的影响

在500℃的冷却速度 (℃/秒)	表 面 硬 度 HV(20公斤)
0.19	530
1.4	553
7.0	600
200.0	629

试验机上进行疲劳试验。轴向力施加于光滑试样,造成恒定应变幅,同时监控相应的应力,得到应变与断裂前循环数的关系曲线,由此推导出 10^7 次循环的应变幅。

在一般比较材料的抗疲劳特性时,需要考虑应力幅(σ_a),弹性模量(E)和应变幅(ϵ_a)。根据作为普通疲劳准则的Smith-Watson-Topper参数($\sigma_a \cdot \epsilon_a \cdot E$) ^{$\frac{1}{2}$} ^[18]进行比较的结果列于表3。

数据表明,在低应变(10^7 次循环)下,同淬火回火的材料相比,所有处理的材料都改善了疲劳性能。不论哪种处理,疲劳强度的提高值是渗层深度的函数,渗层深度相同,疲劳性能改善的程度也大致相同。表面层的类型看来不影响疲劳性能。

在 10^3 次循环的应变情况下,同淬火回火的材料相比,所有的处理对材料的疲劳性能都是不利的。

图5所示为不同的处理和渗层深度场合下应变幅与断裂前循环数的关系曲线。可以看出,氮化层变为无效的应变幅在 4×10^{-3} 和 5×10^{-3} 之间。显然,在高应变速率下,氮化层比回火马氏体更容易开裂。

耐 蚀 性

氮化和碳氮共渗的试样在热处理后也进

表3 708A42(En19C)钢氮化和碳氮共渗后的疲劳性能和腐蚀性能

处 理	到HV 500的 渗层深度 (毫米)	疲劳寿命参数		耐腐蚀性(表面 锈斑达 100%的时间, 小时)
		10 ⁷ 次	10 ³ 次	
淬火回火	—	410	1447	264
500℃氮化	0.22	580	1125	312
500℃氮化并减少 白亮层	0.21	580	1122	—
570℃碳氮共渗* 油淬	0.20	609	970	—
570℃碳氮共渗, 油淬	0.085	451	1089	>1000
570℃碳氮共渗, 空冷	0.076	392	1194	>1000

* 原文可能有误,应为氮化——译者注

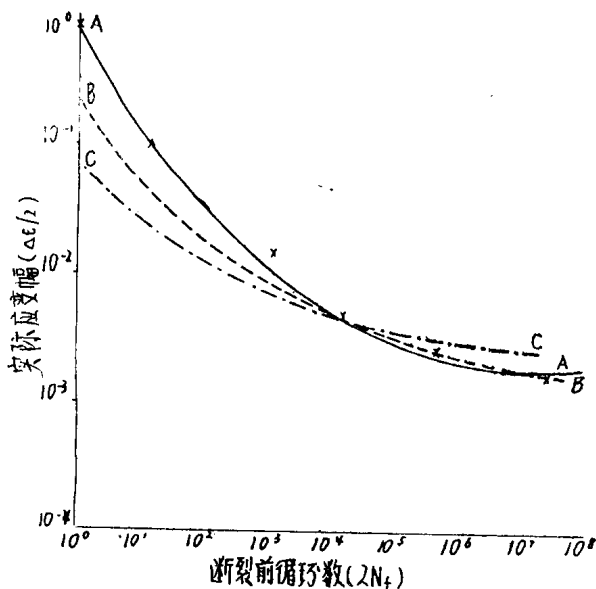


图5 708A42(En 19C)钢热处理后的疲劳特性:
A——淬火回火; B——碳氮共渗后空冷(层深~0.076毫米); C——氮化(层深~0.20毫米)

行了腐蚀试验。按照 ASTM B117 技术说明书,试样在32℃、5%中性盐喷雾内作快速腐蚀试验。试验持续1000小时,每隔一定时间记录下被锈斑复盖的表面面积,把锈斑表面积达100%的时间作为该种热处理后耐蚀性的度量标准。试验结果列于表3。

这些数据证实,未经油淬的碳氮共渗的试样,其表面具有优异的耐蚀性,不能归因于油的滞留。所以,碳氮共渗得到的ε层对改进摩擦磨损性能和耐蚀性都有作用。

Konkoly指出^[10],各种钢在氨气中580℃氮化24小时得到的表面层同520℃氮化的表层相比,耐蚀性要好得多,可是他没有辨明氮化物的类型。Bidleń报道^[20],在氨气中580℃氮化的低碳钢,耐蚀性有所改进应归因于氮化物表面层的改善。显然,碳氮共渗后耐蚀性的改善是由于ε的结构而不是表面层存在碳的缘故。

表4 处 理 参 数 对 表 面 层 的 影 响

		温 度 (℃)	
气	氨	490—540	570
氨	气	普通氮化 合金钢 高硬度 表面: $\gamma' + \epsilon$	合金钢: 油淬高硬度 空冷中等硬度 碳钢: 油淬硬化 表面: $\epsilon + \text{痕量}\gamma'$
氨气, 随后通 N_2 或 $N_2 - H_2$		减少“白亮层” 合金钢 高硬度 表面: $\alpha + \text{痕量}\gamma'$	碳钢 油淬有一定的硬化 表面: $\epsilon + [N]$ 马氏体
氨气和碳氢化合物		合金钢: 高硬度 表面: $\epsilon[C, O]$ 碳钢?	普通碳氮共渗 碳钢或合金钢油淬 合金钢中等硬度 碳钢有一定的硬化 表面: $\epsilon + \text{痕量}\gamma'$
			碳钢: 油淬有一定硬化 表面: $\epsilon + [N]$ 马氏体 合金钢?

结 论

045M10 (En32) 钢试样在50%氨-50%吸热式气体和100%氨两种气氛内570℃下处

理后,都获得了ε氮化物表面层,不过,在每种情况下,在与钢基体的分界面处测得不等量的 γ' ,这可归因于“白亮层”的低碳含量(在氨-吸热式气体处理的场合为0.35%)。按照

Hisler等人的意见^[21], 如要避免 γ' , 碳含量应为1—3%。

实验证明, ϵ 氮化物表面层的耐蚀性比 γ' 层高得多。氮化和碳氮共渗钢的表面层成分对疲劳性能几乎没有影响。改进疲劳性能的重要参数是渗层深度, 据报道^[21], 达0.3毫米即有效。疲劳寿命的提高限于低应变幅, 根据本试验, 其值在 5×10^{-3} 以下。在较困难的受载条件下, 氮化零件的疲劳寿命甚至比淬火回火零件的更短。

在所讨论的工艺中, 有些在工业生产中已充分肯定, 另一些在实验室试验中证明有效, 还有一些尚处于初试阶段。表4列出了在480—700℃温度范围应用氨和氨、氢、碳氢化合物混合气氛进行表面处理的经验总结。表中黑体字部分是已被充分肯定的或有关资料是现成的那些处理方法。其他部分是目前思考推测的情况。

参 考 文 献

- [1] Edenhofer B. Physical and metallurgical aspects of ionitriding *HEAT TREATMENT OF METALS*. 1974, 1, 1, 23—28 and 1974, 2, 1, 59—67.
- [2] Dashfield D. A. Nitriding problems and their solutions *Metal Progress*. Feb. 1964, 85, No. 2, 88—93.
- [3] U. S. Patent No. 2437329.
- [4] U. S. Patent No. 3399085.
- [5] British Patent No. 1303428.
- [6] Bright nitriding process for production of case-hardened steel parts.

- Bulletin No. 6-08. *USS Engineers and Consultants, Inc. Pittsburgh*.
- [7] Gernma Patent No. DT 2823926 (*British Patent applied for by British Leyland*).
- [8] Clayton D. B. and Sachs K. Reduction of "white layer" on the surface of nitrided components. *Heat Treatment '76*. Book No. 181, 1—6. *The Metals Society*, 1976.
- [9] Bell T. and Lee S. Y. Gaseous atmospheric nitrocarburizing *Heat Treatment '73*. Book No. 163, 99—107. *The Metals Society*, 1975.
- [10] Minkevic A. N. and Sorokin Ju V. Nitriding of steel in nitrogen/ammonia mixtures. *Translation BISI 8727 from Härterei-Technische Mitteilungen*. 1970, 25, No. 1, 10—16.
- [11] Dawes C. and Tranter D. F. Low pressure oxy-nitrocarburising at 570℃. *Metallurgia and Metal Forming*. Feb. 1973, 40, No. 2, 58—60.
- [12] Dawes C. and Tranter D. F. Recent developments in surface hardening techniques. *Metals Technology*. Aug. 1978, 5, Part 8, 278—285.
- [13] James W. I. Practical experience with nitrogen-based nitrocarburising. *HEAT TREATMENT OF METALS*. 1979, 1, 6, 13—15.

原载《Heat Treatment of Metals》, 1979, 6, No. 2, 29—34.

〔王介淦译 陈知斌校〕

氮基渗碳气氛的经济效果

J. R. Dale J. J. Artopoeus

氮基渗碳的经济效果可以同吸热式气氛渗碳相竞争。这种方法是在渗碳炉炉门处使用氮气, 以较低的成本达到与吸热式气氛方法同样的质量和可靠性。例如硬度、层深、

碳浓度梯度及显微组织特征都相同。

氮基渗碳方法的研究: 我们首次尝试研究氮基气氛时, 试图用氮气作为运载气体, 并用碳氢化合物予以富化, 其结果不太理

想。这类混合气体易燃，需要高流速以保证炉门处的安全，停顿时间短，反应不安全，氧化碳的含量过低。

此外，工件的碳浓度梯度和渗层不均匀，随着表面积的增加，渗层碳浓度则降低。这意味着需要额外增加一定量的碳氢化合物以形成适当的渗层。然而，这会导致高温区甲烷量很高及形成炭黑。增加空气及其它氧化剂促使甲烷-氧化反应得完全，但高速氮气流会冲淡气氛，以致仍然会遇到滞缓现象。表面的均匀性很少看到有所改善。而且，在盲孔、沟槽或齿根部渗层质量不太好。最后，没有什么好的控制方法可用。

Airco 方法：从这些不成功的早期工作中，Airco 公司逐渐研究出氮气密封炉门的方法（美国专利4 049 473）。

这一方法的原理与操作很简单。用氮气使炉门增压，并使氧含量保持在1%以下，从而消除了爆炸的危险性。

同时，只有碳氢化合物与氧化剂通入高温区彼此发生反应，并使工件渗碳。氮气不是作为运载气体而有意地添加到高温区的，因为它只不过冲淡渗碳时的反应。的确，我们所用的方法促进活性渗碳气氛组分间的反应。

保持时间较长使活性组分反应时间也较长，而且像吸热式气体一样，一氧化碳的含量会较高。炉门处的不易燃烧的惰性气体氮气保证了炉子操作的安全。

吸热式气体和 Airco 渗碳气氛经过比较后看出在925℃、900℃和845℃时气体分析的比较结果。图1是925℃时分析结果的比较。

不管零件的形状如何，一氧化碳含量较高和反应好的气体有利于提高零件渗层的均匀性。

使用天然气作富化剂时，水作氧化剂较好。如果用丙烷作富化剂，则采用水或者空气均可。

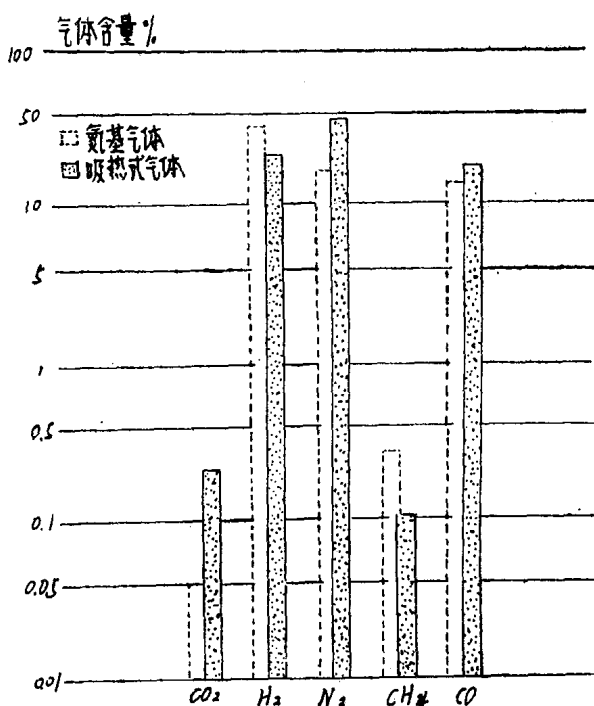


图1 用Airco法增加停顿时间能使气体反应效果好。图示的数据是A公司的吸热式气氛（黑点）和氮基气氛（白色）的数据，温度为925℃

流速低使成本降低。下列速率是额定速率：

	天 然 气	丙 烷
氮 气	推荐的吸热式气流量的20%	
碳氢化合物	最大当量	最大当量的150%
空 气	—	最大当量的200%
水	590毫升/时	740毫升/时

碳势控制：目前有三种碳势控制方法与Airco法一起使用：热丝电阻法（Resistocarb），氧探头或碳敏感元件以及红外线法（CO₂）。

用热丝电阻法时，炉气试样在辅助的炉中重新加热。然后，用一根细铁丝在此炉内渗碳或脱碳，这取决于铁丝本身的情况与炉气的含碳量。接着测量细丝的电阻。由于含碳量与电阻间有直线关系，所以，可直接读出气氛的实际碳势。其测量方法通常与普通气氛控制器有关的成分比无关。

氧探头通过与 CO/CO_2 的比例关系测定炉气中的氧含量，并与空气中氧含量相比较。对吸热式气体而言， CO 的含量不变，为 20%，因而炉中氧含量有任何变化都同 CO_2 的含量直接有关。用 Airco 方法时，无论是 CO 还是 CO_2 ，在渗碳周期的不同点上都可能变化。因此，氧探头的输出不能直接与碳势成正比。试验结果表明，若 CO 的含量变化大于公称含量的 1% 时，氧探头的输出便无意义。反之，测量时若已知 CO 的含量，则使用氧探头很有效。

红外线控制器已成功用于渗碳炉的控制，可是，尚未得出足够的数据以保证长期使用的可靠性。我们认为，如果 CO 和 CO_2 都可以测定，并且使用适当的电界面的话，这种方法是适宜的。

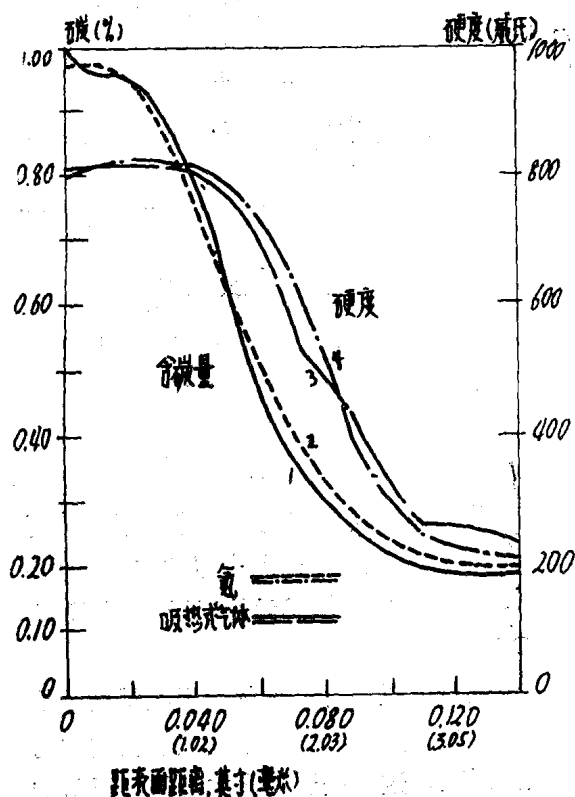


图2 在氮基或吸热式气氛中渗碳产生同样的渗层碳浓度(曲线1,2)和硬度(曲线3,4)梯度。此数据是 A 公司用 AISI 8620 钢在 925℃ 温度下渗碳 14 小时后得出的

吸热式渗碳表层与氮基渗碳表层相同

下面是在吸热式渗碳气氛及氮基渗碳气氛中渗碳零件碳浓度梯度、硬度、显微组织和渗层深度的比较。这些零件所用的炉子、温度和时间等条件都相同。

数据：A 公司制造不在公路上行驶的交通工具。AISI 8620 钢在 925℃ 下渗碳 14 小时，并于 845℃ 淬火，其中包括天然气-水的处理过程。

碳浓度梯度(图 2)表明，总渗层厚度为 1.78—1.83 毫米，显微组织相同。

B 公司生产热处理设备。AISI 1023 钢在 845℃ 下碳氮共渗 1 小时，然后淬火。其中包括天然气、水和氨的处理过程。

不考虑所用方法，总渗层都是 0.28—0.30 毫米。同样，有效渗层为 0.22—0.23 毫米。显微组织相同。

C 公司将 AISI 1118 钢在 900℃ 下渗碳 4 小时，并在 900℃ 淬火，其中包括丙烷-空气处理过程。

不管采用哪种方法，总渗层均为 0.76—0.99 毫米。同样，有效渗层为 0.76—0.79 毫米，显微组织相同。

总之，不论采用吸热式气氛，还是氮基气氛，零件的显微组织、渗层质量和均匀性都相同，生产时间亦相同，而氮基渗碳件较干净。

氮基渗碳也比较便宜，下面作了详细讨论。

氮基气氛：一种经济的代用品

吸热式气体的成本：产生气氛的总成本可以分为四部分：直接效用，间接效用，零件的更换和劳动量，停工时间。

直接效用部分由用于加热发生器或同空气反应以制取气氛所需的天然气的成本所组成。用于其他电气设备的费用和水费等也必须考虑在内。

间接开支包括占地面积、发生器保险费、投资、发生器设备的折旧以及有关劳动力的经常开支。