

国外热处理

GUOWAIRECHULI

(一)

科学技术文献出版社重庆分社

国 外 热 处 理

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：6.00 字数：15万
1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷
科技新书目：152—101 印数：10700

书号：15176·408

定价：0.65元

目 录

热处理技术动向·····	(1)
最近表面硬化处理技术的展望·····	(3)
高温渗碳综述·····	(11)
拖拉机、农业机械制造业中提高零部件寿命的现状与展望·····	(18)
齿轮的淬火变形与残余应力·····	(25)
在化学热处理时齿轮的某些结构因素对其尺寸与形状误差的影响·····	(31)
曲轴离子软氮化处理的研究·····	(35)
盐浴软氮化处理钢的高频淬火·····	(43)
氨基气氛碳氮共渗的实践经验·····	(47)
21% Ni高强度时效钢的氮化·····	(50)
渗硼零件加热与冷却时的尺寸变化·····	(54)
沉淀硬化型不锈钢·····	(56)
粉末高速钢的热处理·····	(65)
感应加热表面处理·····	(71)
零件设计时对离子氮化处理的考虑·····	(77)
氧探头在宇航工业热处理中的应用·····	(86)
盐浴设备寿命的提高·····	(89)
铝合金热处理用的聚合物淬火剂·····	(91)
新的CCT曲线的实际应用·····	(94)

热 处 理 技 术 动 向

H.E. Chandler

D. F. Baxter Jr.

能量守恒, 能的管理, 能的效率或能的利用的研究, 几乎在所有各种预测中, 不是有所阐述, 就是有所暗示。

International Harvester 公司认为: 齿轮和轴的精密热处理可以获得较高的疲劳寿命, 并能减小其重要部位的尺寸, 从而减轻重量, 大大节约材料和能量。

Mack Truck 公司称: 我们正在研究免去不必要的热处理, 例如轴和小齿轮锻件加工前的正火, 这样可以节能和省设备。

Surface 分公司和 Midland 公司认为: 通过改变炉子的操作和设计, 直接或间接的回收能量以及选择热处理工艺, 能量正被储存起来或重新利用。

所有这些努力, 又会缓和将来由于任何矿物燃料短缺而带来的打击。

氮气 Air Products & Chemicals 公司预测: 在1979年, 渗碳采用氮气作运载气体的车间将会显著增加。

初步的数据表明: 设置一个氮气装置并省掉吸热式气氛发生器, 可以节约车间的天然气消耗量10—25%。

除了渗碳以外, 氮基气氛的方法正日益广泛地用于黑色和有色金属的退火、炉内钎焊、中性淬火及烧结。

尽管预言天然气的利用会有所增加, 但人们对氮基气氛仍然极感兴趣。根本原因是天然气输送管线的供气有中断的危险。在许多应用方面, 和天然气相比, 氮可能是一种经济的、性能相同或性能更好的替换物。

渗碳 几种预测都表明, 高温渗碳的应用日益广泛。这种方法的主要好处是能节约大量的能和提高生产率。Ipsen 公司声称:

渗碳温度增加 100°F (55°C), 所需渗碳时间大致减少 50%。Danly 机器公司所属的一个车间赞成这个估计, 它使用四台渗碳炉在 1825°F (995°C) 生成 0.05—0.06 英寸 (1.3—1.5 毫米) 硬化层。以前采用的是 1700°F (925°C), 一个渗碳周期需要 10 个半小时, 现在只要 5 小时。

Danly 声称: “我们已使产量增加一倍, 减少了天然气的费用, 降低了热处理后每磅钢材的成本, 耐火材料及合金费用并没增加多少, 晶粒尺寸也未受到有害的影响。”

简易可靠的碳势控制器, 例如氧探头和 Ipsen 的碳探测器使高温渗碳进一步得到推广。但是, 若高于正常温度就不能可靠地控制碳势又成为采用这一方法的障碍。

Danly 公司的四座渗碳炉和一座中性淬火炉都装有碳探测器。渗碳时碳势调整到 0.95%, 中性淬火时调整到 0.50%, 控制精度为 $\pm 0.02\%$ 。这样的精度可以消除渗碳时的残余奥氏体和网状碳化物, 中性淬火时也不会脱碳。

Valve 分公司和 TRW 公司报告了使用氧探头的经验: 碳氮共渗和表层渗碳时炉内气氛控制得到了重大的改进。例如, 已能控制共析碳达 $\pm 0.1\%$ 。

微信息处理机 对于借助于微处理机、微型或小型计算机或可编程序控制器实现热处理自动操纵来说, 选用更可靠的探测器代替普通的露点和红外仪控制炉内气氛是必要的。

1979 年初预定安装的一条大型的气氛热处理生产线将配置一个可编程序控制器来监控、操纵和提供处理参数; 监控和操纵工

艺流程；监控和提供维修工作的资料；控制‘进程调配’及核对炉子备件库存量。”

Vacuum Industries分公司和 GCA 公司说：“微处理机用来控制一次参数，例如时间和温度、气氛质量、加载和去载；而且它还将扩大到二次参数上。例如连续监控炉子的千伏安/温度的比值，以保证能量的有效利用”。

据Surface说：自动化成果会提高循环效率和产品的再现性。

感应加热/电阻加热 设备制造业现在能提供效率高达97%的电源。IPE 列举了其它工业的发展：包括温度、能量、加热时间监控器、先进的固态控制器以及人工控制器和带输入可编程序控制器。

Tocco分公司和 Park-Ohio Industries 公司找出了四个需要改进的主要方面：

- 1.发展以低、中碳钢代替合金钢的技术；
- 2.发展能保证控制内在质量的线上自动控制法；
- 3.发展能综合利用能量的装置以降低成本及简化部件设计的方法；
- 4.发展适于高载荷零件用的精确控制的选择性热处理工艺。

Thermatool公司对钢或铸铁施以带状或条状硬化技术就是一种新的选择性处理法。400千赫的电阻加热法用于汽车缸套和转向器壳体的选择性表面硬化时，据称是一种比激光或电子束还快得多的方法。

液浴 Benedict-Miller告诫盐浴热处理用户：钡盐要归类在必须用特许的废品处理方法加以处置的物质中，就像含有氰化物的物质一样。

另外，尚无明显迹象表明，由于生态学的理由而使盐浴应用减少。预计，在很大程度上由于环境污染控制技术的进展，盐浴的应用会有所增长。例如，H. E. Sanson & Sons公司引证说：应用中性盐浴“Wash”（洗涤），可减少在熔化氰盐渗碳中所造成的环境污染问题。随后，经对流多次漂洗操作可减少必须处理的排泄量。

Degussa 甚至说：以前归咎于盐浴的生态学问题事实上已因新发展结果而得到解决。

Degussa指出：现在，欧洲人已能充分利用盐浴处理的时间短、均匀、从而精确控制温度的优点了。

氮化 Surface和 Degussa都指出：技术和经济上的优点再次被说成是动力。

Kolene's Melonite——一种无污染的低温液体氮化方法就是一个例子。Honda公司报导了它在汽车曲轴、凸轮轴、变速齿轮及阀杆上的应用。

淬火 Sanson和Sons指出：具有低室温粘度的改进型稳定等温淬火油，将用于改进整体淬火和连续炉的操作性能。另一个研制成果是：具有较宽操作温度范围的淬火油，只要改变盐浴温度，就可使高和低淬透性钢在同一种油内直接淬火。

Caterpillar Tractor 公司在某些炉内淬火处理时已用合成淬火剂代替油。将合成淬火剂用于感应淬火方面，该公司有许多经验。可将多元合金锻件在炉内处理至可机加工范围，然后急冷。“截面硬度均匀性较油淬好，且无裂纹出现，补充淬火剂的时间间隔与油淬时的时间间隔有所缩短，并且可以存放。预计今后炉内处理工序采用合成淬火剂会有所增长”。

真空 Degussa说：“低压或真空渗碳的总趋势是向能够对表面含碳量提供精确控制的连续装置发展，而有时，无需扩散处理。”

GCA's Vacuum Industries 分公司指出了真空炉设备有两处特别需要改进的地方。第一个趋势是采用闭合循环系统，处理水循环装置。其优点是减少使用冷却水，降低抽水费用，减少设备的锈蚀损害。第二个是维持冷却液温度恰好要高于露点的控制措施。其优点是消除真空室内表面冷凝作用，提高生产率。

激光 Warner和 Swasey 公司预计：5—10年以后，激光热处理的应用会大大增

加。这种方法的优点是精确性以及限定区域提供充分的热量以形成耐磨蚀的组织结构。

W和S说：与激光有关的冶金学家对几种传统的热处理概念提出几处较大的修正。

1.激光淬硬零件上相当浅的表层，在使用中证明是令人满意的，而以前规定的表层要深得多。

2.带选择性淬硬表面的零件证明是令人满意的，而以前整个表面需淬硬。

3.经激光淬硬的零件无需通常的回火工序，不会引起使用寿命和耐磨性能下降。

激光最终会在自动加工中心获得应用。在加工中心，原料从一端进入，经激光热处理后的工件从另一端出来。

在应用方面，SKF Industries 公司正在研究激光硬化 AISI M50 高速钢滚动轴承的情况。这种高速钢广泛应用于高速飞机涡轮发动机和传动轴承。

其它新方法 据称：无须运载气体的渗

碳工艺可缩短渗碳周期及减少天然气的消耗。Ipsen Industries International GmbH 说：仅用碳氢化合物的渗碳可用于真空炉和标准密封淬火炉。

“在‘活化’或‘加速’渗碳期”，Ipsen解释说：“残留甲醇的含量被控制在防止炭黑沉积的规定范围内，而在扩散过程中，用碳势控制器测定，氧化物或空气的数量增加了。炭黑与氧反应就被除掉了，这样渗碳件表面便显得光亮而无炭黑”。

在流态床中渗碳也越来越受到重视。其主要优点是：导热能力比一个典型的强制式循环气氛炉快5—10倍。

辉光放电，即离子氮化正用于日本的工、模具及摩托车部件。据称，若设备费用减少，离子氮化的未来是乐观的。

节译自《Metal Progress》，1979，115，№1，45—47

〔张文金译 陈知斌校〕

最近表面硬化处理技术的展望

高濂孝夫

1. 诸 言

人们采用各种不同的手段使金属的表面硬化，特别是钢铁表面硬化获得最广泛的应用，但从处理量，处理方式看，则以气体渗碳表面硬化，高频表面淬火硬化以及氮化用得最多。最近，各种各样的表面硬化处理新技术因它们具有的优点而被采用。

现将最近表面硬化技术的主要内容作如下叙述。

- (1) 气体渗碳硬化和高频表面淬火硬化
- (2) 软氮化

- (一) 盐浴软氮化
- (二) 气体软氮化
- (3) 离子氮化和离子渗碳
- (4) 真空渗碳及电解渗碳
- (5) 渗硼
- (6) 渗硫
- (7) 丰田法
- (8) 化学汽相淀积和物理汽相淀积
- (9) 离子电镀
- (10) 镀层扩散
- (11) 感应加热镀覆
- (12) 合成树脂渗透表面处理
- (13) 电子束，激光加热表面硬化

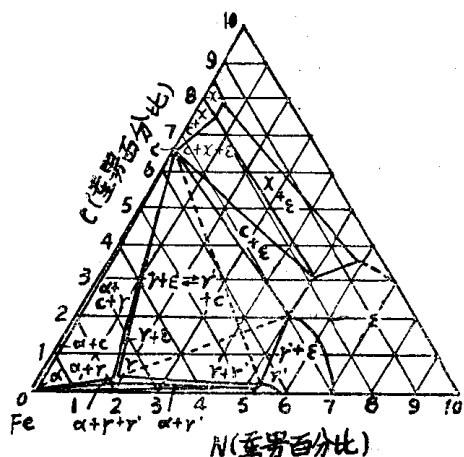
- (14) 等离子体喷镀
- (15) 冲击淬火
- (16) 其它

2. 软 氮 化

2.1 盐浴软氮化

这种方法是以氰盐和氰酸盐为主要成份的低温碳氮共渗法, 盐浴软氮化法¹⁾以及新盐浴软氮化法²⁾为其代表性方法, 在日本已被广泛采用。其原理为: $2\text{KCNO} \rightarrow \text{CO}$ (渗碳) + N (氮化), 570°C 左右处理, 所以氮和碳将同时从钢铁表面向内扩散, 最表面主要生成 ϵ (相 Fe_{2-3}N 基) 氮化物, 而在内部氮固溶在 αFe 中生成扩散层。碳素钢在处理完后急冷, 使氮过饱和固溶在 αFe 中从而提高材料的疲劳强度。最表面氮化物层提高材料的耐磨性、抗热胶着性以及耐蚀性, 扩散层提高疲劳强度。由铝、铬、钛、硅等合金元素生产硬的弥散氮化物的合金钢和铸铁时, 除上述铁的氮化物外, 还生成有 CrN , Cr_2N , AlN , TiN , Si_3N_4 等氮化物, 从处理温度急冷便没有必要, 虽然表面硬度的上升较高, 但是其扩散深度由于这些氮化物的生成消耗了氮而比碳素钢浅。

如图1的Fe-N-C系三元状态图³⁾所示, 在 ϵ 相中固溶了相当数量的碳, 由于碳的固溶, ϵ 相的生成变得容易, 使硬度和耐蚀性



离子氮化是在1967年西德的克罗克诺尔 (Klöckner) 离子有限公司首先开始在工业中采用, 日本引进了这项技术以后才发展成



照片1: 蜗杆的离子氮化

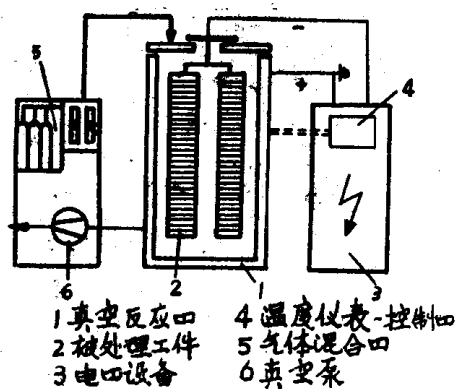


图 2 离子氮化装置示意图

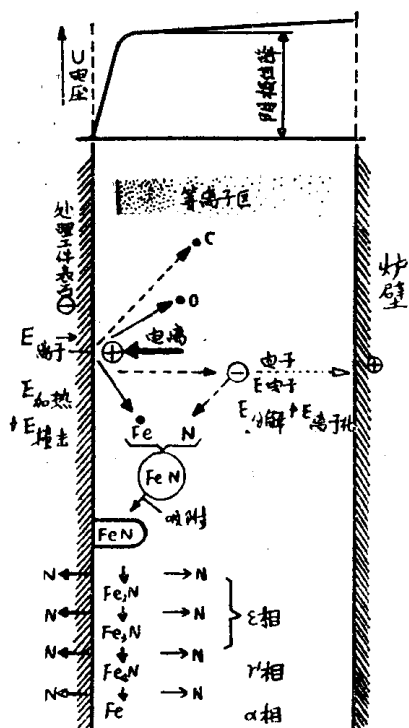


图 3 离子氮化的表面反应



照片2 西德离子氮化处理工件实例

日本独自的技术而获广泛应用。使用的气体,在西德是采用 $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$ 的氨气分解气体,这时 $\text{N}_2:\text{H}_2 = 25:75$ (体积百分数),因为氮气占的比例低,生成的铁的氮化物则容易生成富有韧性的面心立方晶格的 γ'

(Fe₄N)相,要促进密排六方晶格ε (Fe₃N 基)相的生成,需要少量加入CH₄等碳系气体。在日本使用氢和氮的混合气体,并且必要时氮的比率自由地变化于N₂20~80%:H₂80~20%,于真空度3~10毛左右下进行处理。添加碳系气体时,加入少量丙烷,丁烷,甲烷,二氧化碳等气体,气体量太多,但会产生炭黑从而减弱氮化效果,生成Fe₃C。甲烷限制在3%,但当工件材料的含碳量高时则稍低为宜。

蜗杆, S45C, 模数4, 直径65毫米

气体比例 N₂:H₂=9:1, 8毛, 570℃ × 3小时

离子氮化特点是,因为H⁺, N⁺ 离子的溅射作用,发生工件表面清化和还原作用,含铬不锈钢等材料便无需预先处理,其效率可以得到发挥。离子氮化的加热方法主要是离子冲击,为了谋求炉内温度均匀,也用电热加热炉加热到500℃左右以后进行离子氮化处理的方法¹²⁾。处理后的冷却,由于是在减压容器中进行,所以处理后的急冷是有困难的,但是可在炉内用通氮气冷却或者将工件投入水槽中进行水淬冷却。

在处理时扩散层中有铬、硅、铝、钛等合金元素的氮化物,析出的合金钢和铸铁等不必在处理后的急冷。

4. 用氮化处理提高耐腐蚀性¹³⁾

最近,与镀铬公害和其它一些问题有关,碳素钢以及低合金钢经过软氮化处理后,耐腐蚀性提高了,所以,以提高耐腐蚀性和耐磨性为目的的软氮化处理获得了应用。用这种处理提高耐腐蚀性的条件是,表面碳氮化合物生成ε相必须在15~20微米以上。使氮和碳能同时扩散的盐浴软氮化以及气体法软氮化容易生成ε相,而离子氮化时氮的比率高,则有必要少量加入促进ε相生成的含碳气体。γ'层比ε相耐蚀性差。也有研究报告

介绍,供给含氧的气体能提高耐蚀性能。

5. 低温渗硫处理(Caubet Process)¹⁴⁾

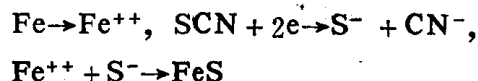
这种方法是法国的液压机械磨损研究所所长考倍特(Caubet)研究的新渗硫法,日本已引进这一技术。

以180~190℃低温处理为特点,经过渗碳硬化,高频表面淬火硬化或普通淬火的零件,可以兼顾进行消除变形的低温回火。



照片3 低温渗硫处理后的组织(黑色部分是FeS)

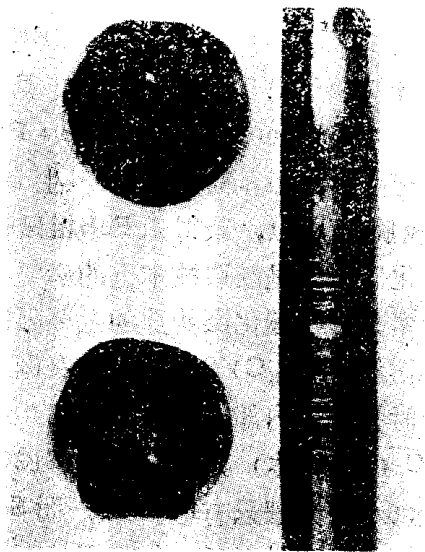
处理要点,以硫氰化物为主要成分,处理工件接⊕电位,盐浴介质接⊖电位,处理约10~20分钟,使工件表面生成FeS,从而显著提高工件的抗热胶着性能。反应为:



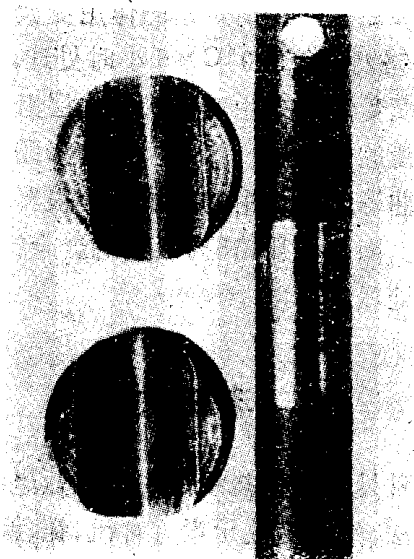
照片3是表示处理后工件的外表面组织,黑色部分是FeS,硬度低而跑合性高,照片4(a)(b)分别是未经处理和经过处理后试样的热胶着试验的结果。照片表明经处理后的试样,其抗热胶着性好。照片5表示法国的低温渗硫处理炉的外观。

6. 真空渗碳¹⁵⁾

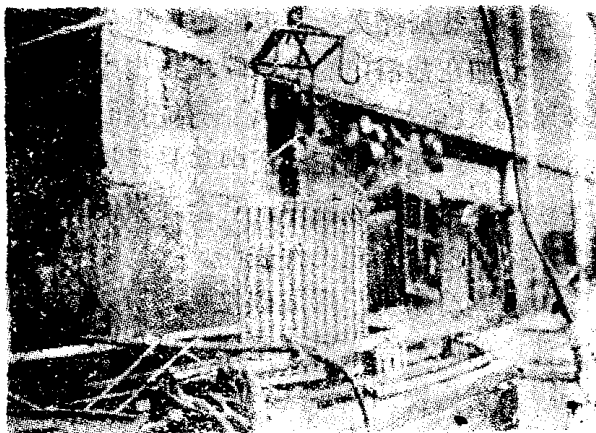
真空渗碳其渗碳炉的发热体是使用石墨毡或石墨棒,工件装炉后炉内气氛减压至



照片4 (a) 模拟热胶着试验 (未处理)



照片4 (b) 模拟热胶着试验 (经低温渗硫处理)



照片5 低温渗硫处理炉 (法国, HEF)

10^{-4} 托。在 1040°C 左右高温加热后,直接通入 CH_4 , $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ 或 C_3H_8 等碳系气体,以进行渗碳。使用的气体因炉子的制造厂的不同而不同。由于采用真空加热使表面活化,由于高温,渗碳时间大大缩短。渗碳后通入氮气,在冷却室冷却至 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 后,再加热到淬火温度 850° 左右以细化晶粒;尔后,在附属淬火槽中进行油淬。淬火油是使用特殊的真空淬火油,因为不接触空气所以淬火油很少老化。图4是将同一零件用一般气体渗碳和用真空渗碳的工艺对比示例。一般所用的气体渗碳炉因设备的高温强度、寿命等问题不可能用高于 1000°C 的温度来渗碳。但是,

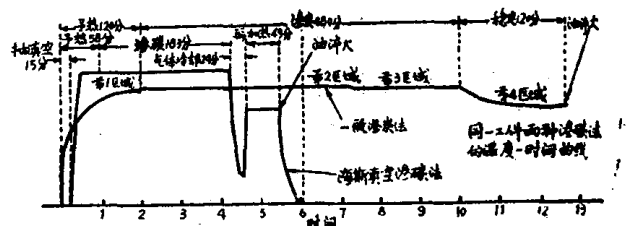


图4 一般吸热型气体可控气氛渗碳和真空渗碳的工艺对比

由于采用真空加热,则可以在高于 1000°C 的温度下进行高温渗碳,因此它的渗碳时间小于气体渗碳的 $\frac{1}{2}$ 。至于渗碳过程中气体的流动情况,真空渗碳和气体渗碳也完全不一样。气体渗碳炉用风扇机械搅拌渗碳气体,譬如,对柴油机用喷嘴那样细孔(例如1毫米)进行渗碳时,采用机械搅拌要置换孔内的渗碳气体是困难的,而真空渗碳时,渗碳气体的搅拌因为利用物理现象,造成均匀的气体流动。就是说,在一定压力下渗碳气体通入炉内后,再稍稍减压。如果重复几次,盲孔中的气体,工件和工件间的气体都能完全置换成新鲜的气体。

7. 离子渗碳¹⁶⁾

离子渗碳原理和离子氮化相类似,但其处理温度为 $930\sim 960^{\circ}\text{C}$ 左右,比离子氮化温度高,处理后淬火得马氏体组织。它是将处

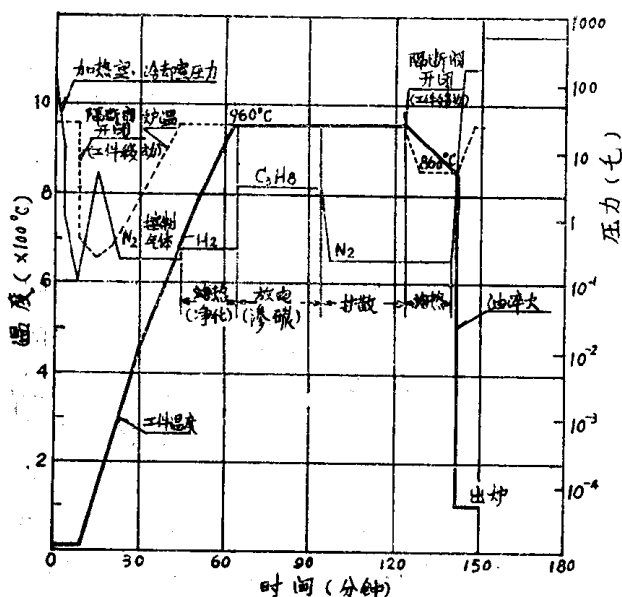


图5 离子氮化工艺一例

理工件在真空状态加热至渗碳温度附近时，通入数毛的碳系气体 C_3H_8 ， CH_4 或碳氮共渗时， $CH_4 + N_2$ 的混合气体¹⁷⁾。碳氮共渗时在860°C左右温度下进行。

在通入气体的同时将直流高压电加在处理工件（一）和阳极间，使之产生辉光放电，并加速 C^+ 离子（碳氮共渗时是 C^+ 和 N^+ 离子）， C^+ 离子轰击处理工件表面并进行渗碳。采用离子轰击或其他方法加热到渗碳温度。因此，这种间接加热方法是真空渗碳炉的改进的结果。图5表示采用间接加热离子渗碳处理工艺一例。

直接加热也有使用氩气加碳系气体的情况。离子渗碳与真空渗碳以及一般渗碳相比，它极大地缩短了渗碳时间。

8. 渗硼处理¹⁸⁾

渗硼处理是用能产生扩散的高温，使处理工件的表面接触硼原子（B），硼从表面向内部扩散生成 FeB ， Fe_2B 。 FeB 的硬度高达 $H_V1800 \sim 2000$ ， Fe_2B 达 $1400 \sim 1500$ ，它们提高工件的耐磨性，耐蚀性和抗氧化性。渗硼处理的方法有气体法，液体法，固体法以及电解法。最近，西德广泛采用的方法是应

用固体渗硼剂，使用 B_4C ，有Electroschmelz厂生产的EKABOR-2以及EKABOR-3。与固体渗碳法相同，处理温度是850~1000°C，一般用900°C。因为 $FeB + Fe_2B$ 双相组织在两相的相界面上容易产生龟裂， FeB 又较脆，所以，获得无 FeB 相只有 Fe_2B 相的硼化层，乃是制造技术上的必要条件。合金元素是影响硼化层构造的主要因素，因为碳不溶解（ Fe_3C ）B，所以它在硼化层生成的同时被挤入内部。因此，内部生成较多的 Fe_3C （珠光体）。譬如，将S15C钢经950°C×5小时处理只有 Fe_2B 相，而S45C钢经890°C×14小时处理后，在 Fe_2B 的下面生成了 Fe_3C 的富集区。钨、钒、铬等合金元素也影响渗硼层，特别是铬的作用更大一些。将17%铬钢进行900°C×5小时处理，硼化层的厚度变薄，未生成针状硼化层组织，而形成平滑的硼化层，象这样的渗硼层对冲击，弯曲等外力作用的抵抗能力很弱，很容易剥落。因此，凡铬6%以上的合金钢不宜作渗硼处理。

9. 丰田法¹⁹⁾

这种处理有熔盐浸渍法，熔盐电解法以及粉末法。作为扩散元素可有钒、铌、钽、钛、钨、钼、铬、硅、铝、硼等。特别是在大气中熔融盐浴中浸渍，在钢，超硬合金，石墨等表面生成 VC ， NbC ， TaC ， Cr_7C_3 ， TiC 等碳化物层，处理后进行盐浴淬火等淬火硬化并防止变形。

添加在盐浴中的含有碳化物生成元素的金属粉末 $Fe-V$ ， $Fe-Nb$ 等，一部分沉积在盐浴底部，一部分则在盐浴中呈悬浮状态。这些粉末熔化于硼砂浴中，合金元素便从硼砂为载体转送给处理工件表面。

这些粉末易于形成碳化物，所以与处理工件中的碳结合生成了坚硬的碳化物。一般来说，碳化物的硬度极高， $VC3000 \sim 3500$ （HV）， $NbC2500 \sim 3000$ ， $TiC3000 \sim 3500$ ， $Cr_7C_3 + Cr_{23}C_{14}1500 \sim 2000$ ，铁的硼化物1800

~2000, 又富有耐磨性, 抗热胶着性, 抗氧化性, 耐磨蚀性以及耐热性等性能, 因此这种处理方法广泛地用于各种模具、刀具及其它工件上。处理温度是800~1000℃。

10. 化学汽相淀积²⁰⁾和物理汽相淀积²¹⁾处理

化学汽相淀积是用化学方法将金属的碳化物, 氮化物, 硼化物或纯金属等淀积在工件表面上的一种表面硬化处理技术。作为淀积物有TiC, TiN, 也有CrC, Fe₂B, Ta等。当淀积TiC时, 将TiCl₄和H₂以及CH₄, C₆H₆, CH₃等气体加热到900~1200℃并通入蒸馏罐, 处理数小时后, 在表面形成8~10微米厚的TiC层。反应: $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$, $\text{TiCl}_4 + \text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{TiC} + \text{HCl}$, 或者是: $\text{TiCl}_4 + 2\text{Fe} + \text{C} \rightarrow \text{TiC} + 2\text{FeCl}_2$, 母材中的碳有助于TiC的生成, 所以母材中的含碳量以高为好。图6是化学汽相淀积处理装置示意图, 照片6(a), (b)是瑞士贝纳克斯Berrex公司的化学汽相淀积处理炉和工件装入炉内的情形。

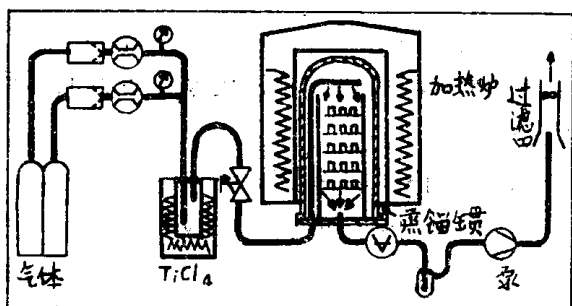
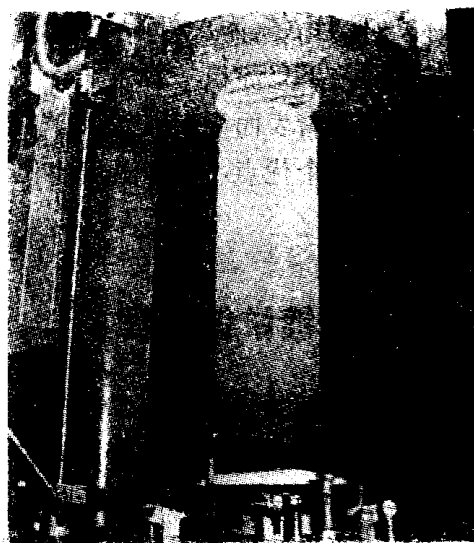
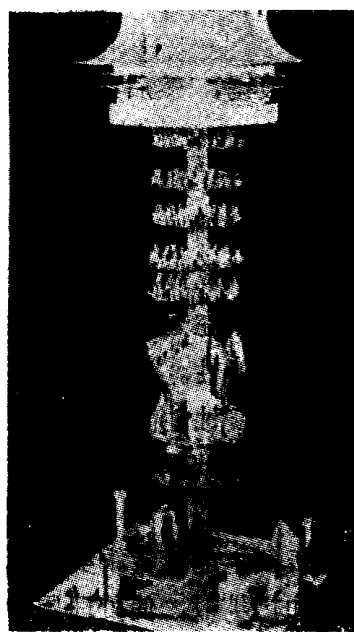


图6 化学汽相淀积处理装置示意图

在淀积TiN时, 使用 $\text{TiCl}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ 的混合气体, 通过下列反应生成TiN: $\text{TiCl}_4 + 4\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{TiN} + 8\text{HCl}$, 处理温度为1100~1200℃。TiC以及TiN的硬度, 譬如用普通钢处理2小时后, TiC3600~4000 (HV), TiN1800~2000, CrN1000~1300, 基体材料150~200。这种方法在欧洲较盛行。首先, 将西德冶金协会的技术引进日本。接



照片6(a) 化学汽相淀积处理炉（瑞士，贝纳克斯公司）



照片6(b) 化学汽相淀积处理工件实例（瑞士）

着, 最近引进了瑞士的贝纳克斯公司的技术并用在日本的超硬刀具制造中。

这种方法的缺点是除了超硬刀具外, 若用在工具钢上处理后心部硬度较低。此外, 最大的问题是处理工件的变形, 正在研究解决措施。

物理汽相淀积处理是在 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ 托的低气压下, 熔化电镀金属 (采用电子束加热, 高频加热或未线加热方法)。使之淀积在工件表面上。例如在淀积TiC时, 通入蒸发钛原子和 C_2H_2 等气体, 通过下列反应:

$2\text{Ti}(\text{气体}) + \text{C}_2\text{H}_2(\text{气体}) \rightarrow \text{TiC}(\text{固体}) + \text{H}_2(\text{气体})$, 从而使TiC淀积镀在工件上。这种方法虽然存在着表面淀积镀着均匀性问题, 但是, 有一个优点: 处理温度比化学汽相淀积温度低。

11. 电镀扩散处理²²⁾

电镀扩散处理是先将处理工件的表面进行电镀, 然后加热使电镀层的金属或合金向母材扩散, 这种方法是法国的液压机械磨损研究所研究出来的方法, 日本引进了这项技术。其主要方法有:

11.1 斯特纳尔法(Stanal)(铁基合金表面处理法)

钢铁表面镀锡, 然后在600℃左右于氮可控气氛中加热2~3小时, 使锡向内部扩散, 除FeSn, FeSn₂外, 母材中的碳和锡反应生成Fe₃SnC。这种方法具有以下优点:

- (1) 提高重负载作用下油膜耐压强度。
- (2) 可提高用在无润滑状态的水中和海水中的耐磨性。
- (3) 提高耐腐蚀性能。

11.2 福莱兹(Forez)法(钢铁表面处理法)

在钢铁表面上电镀青铜类合金, 在600℃左右的温度加热扩散, 使处理层和母材充分结合。处理层的最外层是锡68% 2~3微米, 往里的中间层是α或δ相(Hv550), 这样处理后可作为铜合金的代用品, 提高耐蚀性, 耐磨性。

11.3 德尔桑(Delsun)法(铜合金的表面处理法)

在Cu-Sn, Cu-Sn-Pb, Cu-Sn-Ni, Cu-Zn, Cu-Al等铜合金表面上电镀锡或锡合金, 在400℃左右扩散1~1.5小时, 表面层硬度Hv480, 厚度为15微米, 以后是含有δ(Cu₃Sn)相、Cu₄Sn的扩散层。靠近母材处的硬度为Hv600。工件的耐磨性, 抗热胶着性, 耐蚀性均有提高。

11.4 齐纳尔(Zinal)法(铝合金表面处理法)

这种方法是在铝合金表面用Cu-In复合合金化的方法, 电镀后在160℃加热扩散。表面的15~20微米以In-Cu合金为主, 硬度达Hv400, 扩散层则铜居多, 硬度为Hv250, 提高了耐磨性, 抗热胶着性, 摩擦系数小而且稳定。

12. 合金表面浸渗合成树脂处理²³⁾

这种方法是可以同时兼有硬的涂膜和固体润滑的表面处理法, 已发表了题为“硬涂层兼具固体润滑的抗磨损问题”的论文。作为敷膜材料是使用四氟乙烯, 聚四氟乙烯, 聚四氟乙烯塑料等氟树脂。主要有Tufram涂层和Nedox涂层。日本从美国的Magna-plate公司引进了这一技术。

12.1 Tufram涂复处理

预先经过阳极处理的铝或铝合金多孔表面浸渗氟树脂, 其厚度为0.01~0.03毫米, 表面硬度为HRc67, 在315℃以下的温度保持有润滑性, 摩擦系数为0.05, 绝缘性也好。这种涂层在汽车汽缸, 活塞, 印刷机械, 铝模具, 齿轮, 输送机零件等方面得到了应用。

12.2 Nedox涂复处理

在铁或铜合金的表面形成Ni, Ni-Co等硬化层。这种表面是多孔的, 并浸渗氟树脂。经处理后膜厚5~25微米, 表面硬度Hv750~1200, 摩擦系数为0.05, 在-210~250℃温度范围内具有韧性, 还具自润滑性。

这种处理可用于一般机器、原子能、航空、宇宙开发、食品、汽车等方面。

13. 用电子束以及激光的表面硬化法²⁴⁾

采用电子束或激光作热源, 进行局部加

热或溶解后快速凝固,自淬火以硬化表面。例如,用激光,功率为10千瓦,使阀座、活塞槽等表面硬化,硬化深度为0.13~1.3毫米,一分钟里能处理650平方厘米的面积,还有代替高频淬火和表面硬化淬火之类的局部硬化的产品。

参 考 文 献

1. 高濑:日本金属学会会报,14(1975),2,99
2. 小犬丸:金属,1977,3,22(热处理と表面硬化増刊号)
3. F.K.Naumann und G.Lanscheid:Arch. Eisenhüttw.,36(1972),677
4. Hydromecanique et Frottement (HEF, フランス)技术资料
5. 东京热处理工业(株)技术资料
6. 不二越工业(株)技术资料
7. オリエンタルエンジニアリング(株)技术资料
8. 高濑,中村,牧野,菊地,浅香:铁と钢,60(1974)263
9. 中外炉工业(株):日本金属学会会报,14(1975),3

10. 日产自动车工业(株)特许,United States Patent,24(1973),7
11. 山中:日本金属学会会报,14(1975),2,117
12. 中部电机工业(株)技术资料
13. 高濑:金属,1977,3,7
14. 桑山,野牧:热处理,12(1977),4,53
15. 杉山,岩田:金属,1977,3,50
16. 米田:金属材料,1977,5,39
17. P.Collignon 他:Härtereitechn. Mitteil.,32(1977),2,69
18. 盐谷:金属,1977,3,38
19. 新井:金属,7(1973),7
20. 佐藤他:热处理,11(1971),6,278 Bernex 社技术资料(スイス)
21. W.Engel: Härtereitechn.Mitteil.,29(1974),12,59 日本真空工业(株)技术资料
22. 桑山,野牧:金属,45(1975),5,21
23. C.P.Covino: Metal Progress,7(1975),69
24. F.D.Seaman 他: Metal Progress,7(1975),67
原载《铸锻造と热处理》,1978,№11,9~16〔陈百金译 蒋国棟校〕

高 温 渗 碳 综 述

Frederic J. Mahler

为了便于讨论,将高温渗碳的定义定为“在1800°F到2000°F温度范围内的渗碳”。之所以将2000°F温度定为其上限,是因为高于此温度将有可能产生严重的熔融问题。而将1800°F作为其下限,是因为在实际生产中很少有人在此温度下进行渗碳。选用1900°F作为许多实例中的代表性温度,这是因为在这个温度下渗碳已引起很多人的兴趣和作过讨论,有些人实际上已在一定的条件下使用了这个温度。

本文将探讨许多与高温渗碳有关的问题,

并且说明用来解决这些问题的某些方法。随着高温渗碳而产生的有关问题可归纳为:

1. 对被处理零件的影响;
2. 在炉子结构材料方面的限制;
3. 有关气氛控制问题。

对被处理零件的影响

1. 机械性能 人们必然会非常关心高温渗碳对被处理零件的机械性能和变形的影响。

为了检查对机械性能的影响，在实验室中采用 1700°F、1800°F、1900°F 和 2000°F 的温度，对几种不同的材料进行了渗碳试验，得到有效渗层深度都是 0.06 英寸的碳梯度曲线。

将 8620、4620、9310、1020 的钢加工成测试碳梯度的标准 6 英寸试棒，并在每一种温度下进行试验。图 1 是在各种温度下的保温时间和所获得的碳梯度。

从抗拉、冲击或疲劳性能的试样中评定

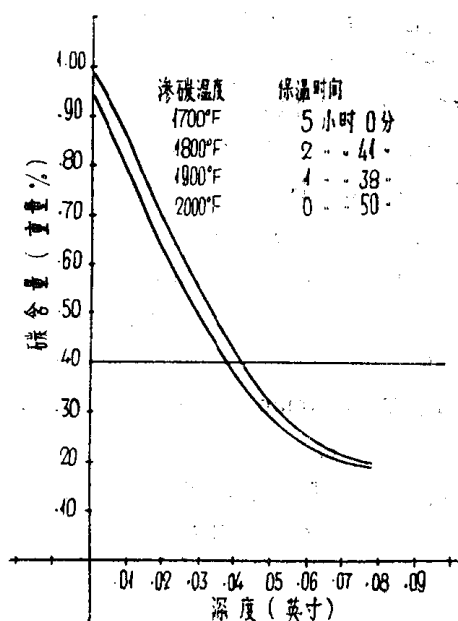


图 1 8620 钢在四种温度下所得到的碳梯度曲线

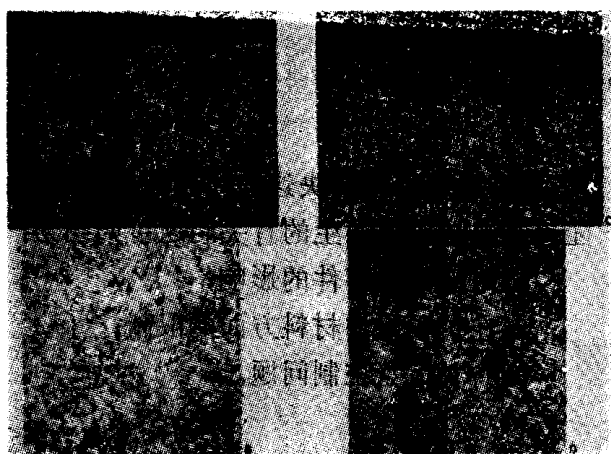


图 2 8620 钢渗碳后的显微组织，渗碳温度为 1700°F (表面 a，心部 b)，渗碳温度为 1900°F (表面 c，心部 d)，得到的有效渗层深度为 0.040 英寸，表面含碳量为 0.95%

了它们的金相组织。图 2 是 8620 材料经 1700°F 和 1900°F 渗碳后所得到的表面和中心的显微组织。从渗碳钢 (8620、4620、9310) 中所测得晶粒大小说明其晶粒长大不明显。但是在 2000°F 渗碳后奥氏体晶粒明显粗化。

即使缺少阻止晶粒边界长大元素的 1020，1117 号钢中，晶粒也只发生中等程度的长大，而所看到的晶粒度也不超过 ASTM 的 6 级标准。

必须记住，晶粒的长大是取决于时间和温度共同作用的过程，如图 1 所示，当渗碳温度提高时，达到规定渗碳深度所需要时间急剧减少。

还有，如图 3 所示，8620 材料在任何试验温度下所得到的晶界氧化穿透深度没有明显的差别，这个现象也可以联系到和时间-温度的关系。

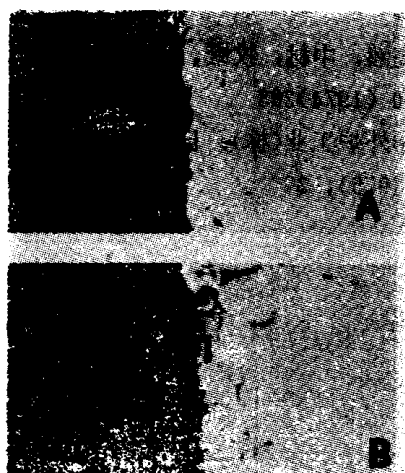


图 3 8620 钢在 1700°F、保温 5 小时 (A) 和 2000°F、保温 0.83 小时 (B) 渗碳后的晶界氧化情况

渗碳试验中包括 8620 钢加工成的拉伸、冲击和疲劳试验试样。进行这些试验的目的不是为了作出这些性能的技术数据，而是为了定性地说明提高渗碳温度对相同渗层试样的影响。

图 4 所示的拉伸试验结果指出，在各个试验温度下强度并没有明显的差别。所有试样的抗拉强度都在 150000 至 200000 磅/英寸² 范围内，而延伸率不大于 0.5%。

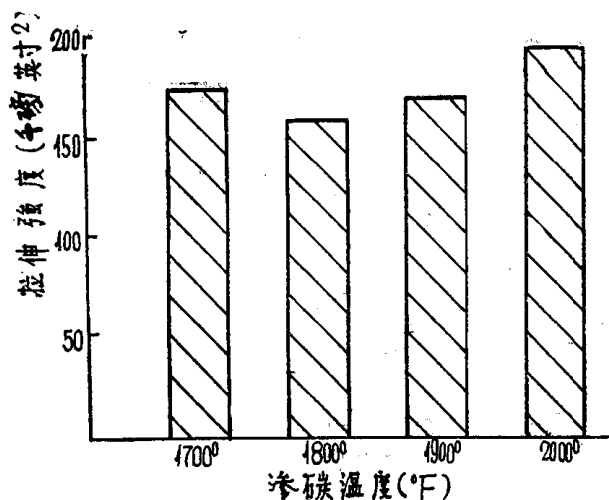


图4 8620钢渗碳后有效渗层深度为0.040英寸 (表面含碳量=0.95%)的拉伸强度

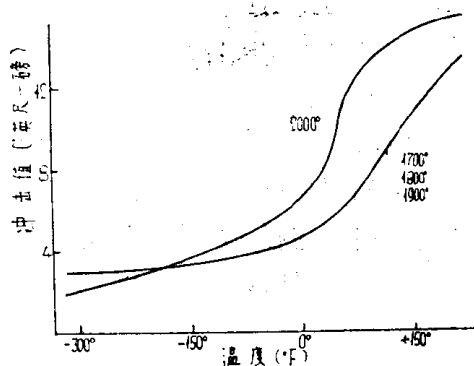


图5 摆锤式冲击试验, 8620钢渗碳后有效渗层深度为0.040英寸, 表面含碳量=0.95%

图5所示的摆锤式(夏比)冲击试验表明, 在1700°F到1900°F渗碳后冲击性能没有明显的差别。但是在2000°F渗碳后的试样中却有了显著的变化。延性-脆性转变温度有明显的下降。图6所示的破断面还显示出有粗大的奥氏体晶粒。

同样, 图7所示的反复弯曲疲劳试验表明, 在1700°F到1900°F的温度渗碳后疲劳性能并没有明显的差别, 但可以看出在2000°F渗碳后在同样的应力级试验下, 持久性能有明显的下降。

所以, 一般可以认为8620钢在1900°F以下渗碳时机械性能没有影响。但是在2000°F时, 冲击和疲劳的性能有了改变。

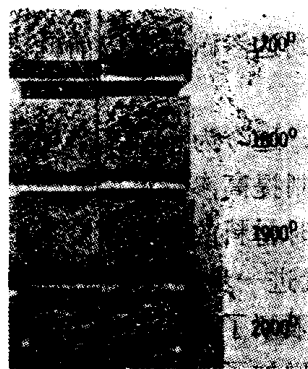


图6 8620钢经不同温度渗碳试样的摆锤式冲击破断面, 放大2 1/2倍

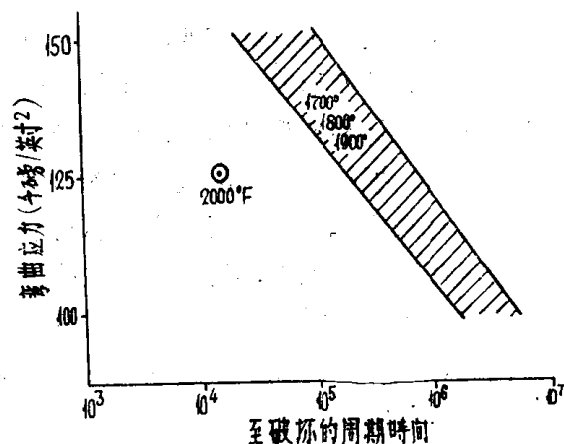


图7 8620钢渗碳后有效渗层深度为0.040英寸, 试样的反复弯曲疲劳强度, 表面含碳量=0.95%

2. 变形 渗碳时的变形一直被人们认为是高温渗碳的主要障碍而经常加以讨论的一个问题, 因此值得去研究造成变形的某些原因, 找出问题的症结所在。

对被处理的零件来说:

1) 升温时的温度梯度, 假定采用标准的加热设备, 那么即使提高渗碳温度, 也不会改变加热速率, 因此温度梯度并不像想像的那样会有什么不同。

2) 冷却或淬火应力, 在淬火之前可将炉子预冷至1500°F*, 这样冷却速度将没有多大差别, 而从1550°F淬火的急冷度是一样的。

3) 加工应力的松弛, 它是在加工时随着

* 原文为1500°F, 但从全文来看应是1550°F——译校者注。

所产生的应力而变化的，和渗碳温度并无关系，因为在到达渗碳温度以前就已消除了所有的应力。

4)蠕变，迄今为止由高温引起的零件变形一直是限制提高渗碳温度的一个因素。显然，在高温时材料的蠕变强度是比较低的，因此，载荷就进一步受到限制。材料的塑性流动更严重地限制了尺寸、形状或载荷的能力，同时还增加了对装夹的要求，这样就减少了高温渗碳在理论上能提高生产率的优点。

对于装夹具来说：

由于在高温下过分的蠕变，使得料盘、料筐和工夹具的变形成为一个严重的问题。改变材料、设计和装载技术有助于解决其中的一些问题。据称，通过改进料筐的材料以及重新设计来重新分配载荷的方法有可能克服其中某些缺点。此外，还可以通过改进装夹技术来减少某些零件无支撑处的重量。

因此，减少因高温而产生的和变形有关的问题是有可能的。

炉子结构材料

炉子的材料大概不会像人们所担心的那样成为一个大问题。耐火材料适用于在2000°F以上操作的炉子。炉墙的绝热构造型式也很容易改进以保持所需的炉子表面温度。毡衬材料也可能是适用的。

对合金构件作某些改进无疑地是必要的。合金能在1900°F下渗碳使用的标准，应包括热强度、抗渗碳性、抗氧化性、过热能力（对加热元件和辐射管而言）以及它的加工工艺性。

现在通用的材料中，这些性质的许多方面都是可以达到的。例如，参阅图8中取自商品材料的蠕变强度曲线数据，说明在1700°F使用时由RA330制造构件当使用温度提高到1800°F，为了保持其蠕变强度，可用RA333代替，而在更高的温度时，可用617

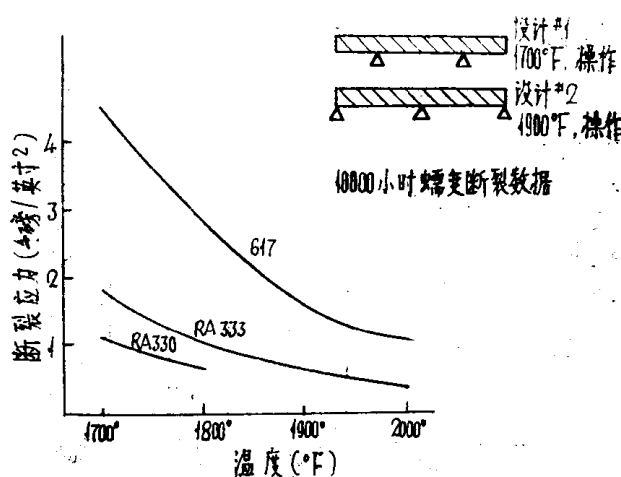


图8 断裂应力与温度的关系

代替。

从图8中可以看出，如从蠕变的观点来改进设计，那么唯一要求改变的只是需要增加支撑点的数目。

有可能时，合金构件也可用非金属材料来代替，例如碳化硅轨条。已经知道具有所需要性能的材料包括Fe-Cr-Ni奥氏体不锈钢、Ni基合金、钴基合金、高熔点金属和耐火材料。

还需要对提高这些或另一些材料的性能作进一步的研究，以便满足高温渗碳的要求。这样成本很可能提高，但在全面考虑高温渗碳的经济性时，必须考虑这一点。

气氛控制

另一个令人关心的问题是在工艺过程的控制。一种担心是在高温渗碳时CO₂控制的精确度。由于碳势、CO₂%和温度之间相互关系的性质，在给定碳势下，1900°F的CO₂平

CO ₂ 控制的精度		
指标：1.0%碳势		
仪器精度：刻度的±1%		
	0—0.5%CO ₂	0—0.1%CO ₂
1700°F	±0.04%C	±0.02%C
1900°F	±0.10%C	±0.03%C

图9 CO₂控制的精度