

國外熱處理

GUOWAIRECHULI

(五)

科学技术文献出版社重庆分社

《国外热处理》(六)内容预告

实验·研究

原始组织和化学成分对电子轰击、激光和感应淬火硬化层性能的影响
25X2HMΦA钢中各种组织形成动力学
高速钢的组织与性能与冷却速度的关系
高速钢加热时共晶碳化物的成分和结构的变化
合金元素和杂质元素对回火脆性的影响
回火对表面硬化件磨削裂纹的影响
宇航齿轮热处理的参数
激光表面处理
热处理对镍基合金工艺塑性的影响
H-13钢的代用材料Cromo-N的热处理

渗碳·氮化

低碳钢渗碳、碳氮共渗和软氮化后的磨损与疲劳性能的比较
吸热性气氛中的渗碳动力学
渗碳过程中气体介质与金属表面相互作用的规律性
渗碳钢的断裂抗力
选择最佳类型碳氮共渗用钢的标准
氮化的若干问题及其解决办法
离子氮化法在高速工具钢上的应用

设备·仪器

热处理炉的监控措施和辅助方法
淬火剂的测试
世界上第一台双区真空炉
冷拔钢退火用的新型电加热罩式炉

专 利

真空渗碳炉

其 它

热处理108个问题(4)

国外热处理(五)

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: 4.750 字数: 12万

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

科技新书目: 185—135 印数: 3450

书号: 15176·442

定价: 0.50元

目 录

综述动态

- 热处理技术的现状与发展趋势.....(1)
- 1978年美国金属学会热处理会议.....(5)

实验研究

- 渗碳钢的断裂抗力.....(12)
- 高温渗碳钢的特性.....(61)
- 用酒精制取热处理气氛.....(21)
- 工业碳钢中块状马氏体转变动力学.....(24)
- 冷轧轧辊淬火层中残余奥氏体的分布.....(29)
- 钢表层快速硬化的可能性和界限.....(31)
- 高速工具钢在特殊炉气氛中的渗碳硬化.....(35)
- 热处理对1%碳-铬轴承钢中残余奥氏体的影响.....(37)
- 最近的高速钢工具及表面处理工具.....(42)
- 铸铁热处理强韧化.....(47)

设备仪器

- 氧探头的理论和实践.....(56)
- 新的模具热处理炉.....(64)
- 深槽盐浴炉.....(67)
- 氮基炉气和聚合物淬冷液在热处理中的应用.....(69)

经验交流

- 腐蚀磨损后堆焊修复的汽轮机叶叶的热处理.....(73)
- 热处理108个问题(3).....(75)

热处理技术的现状与发展趋势

藤 沢 昭 一

设计和生产管理

热处理的目的从基本意义上加以分类如表1所示。机械零件的设计要点概括起来是精度和强度（耐久性），前者是机械加工技术，后者包括热处理及材料技术。寻求两者合理的配合是加工技术最重要之处。

用这种观点重新估价表1，应该研究出更合理的热处理方式。热处理的最终目的，是按设计的要求，保证零件的强度。但是，加工零件的中间工序，多数是为了提高加工效率和加工性能。这些热处理的规定要载入

表 1 热处理的目 的

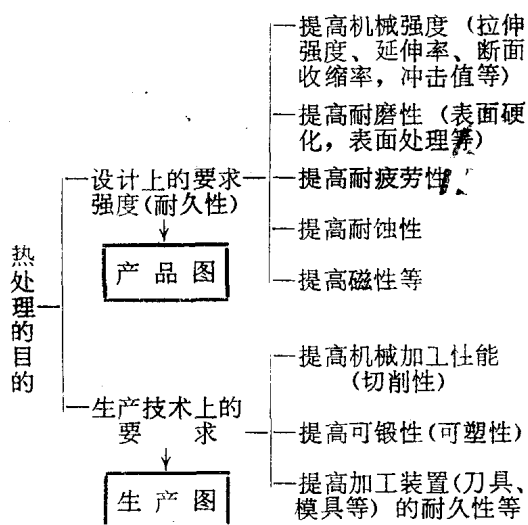
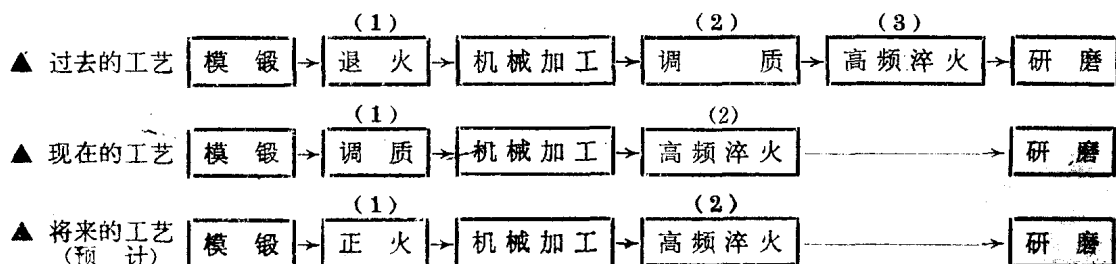


表 2 车 轮 轴 (S45C 钢) 加 工 工 艺 的 变 化



产品图和生产（加工）图并加以实施，成品零件必须满足产品图的设计要求。现例述它们之间的相互关系。

例：汽车车轮部件（车轮轴）

汽车车轮直接装在轮轴上，由引擎将动力传递给车轮。为了提高机械强度，S45C钢要进行调质（淬火回火）。这种零件的加工工艺如表2所示。

为了调整锻造组织和提高可切削性，过去的工艺是模锻后进行退火，规定硬度85—87HRB。机械加工后进行调质（淬火和回火），使产品图中规定的强度得到提高，而硬度规定在28—35HRC。高频淬火的目的在于使产品图中规定的耐磨部分得到局部硬化。但是，这种工艺的困难在于调质工艺，由于热处理变形，不仅机械加工精度降低，而且由于加工时氧化，有必要采用象喷丸这样的表面处理工艺。

现在的工艺改善了上述不足之处，同时省去了退火工艺。因为机械加工前进行了调质，就不必担心变形和表面氧化。但是，产品图记载的调质硬度规定为15—28HRC。显然，与过去的工艺相比，每单位面积上的强度不够。机械加工性能和可大批生产的硬度界限是上述调质硬度的上限。因此，可以推断，作为未来的工艺，调质可能改为正火，

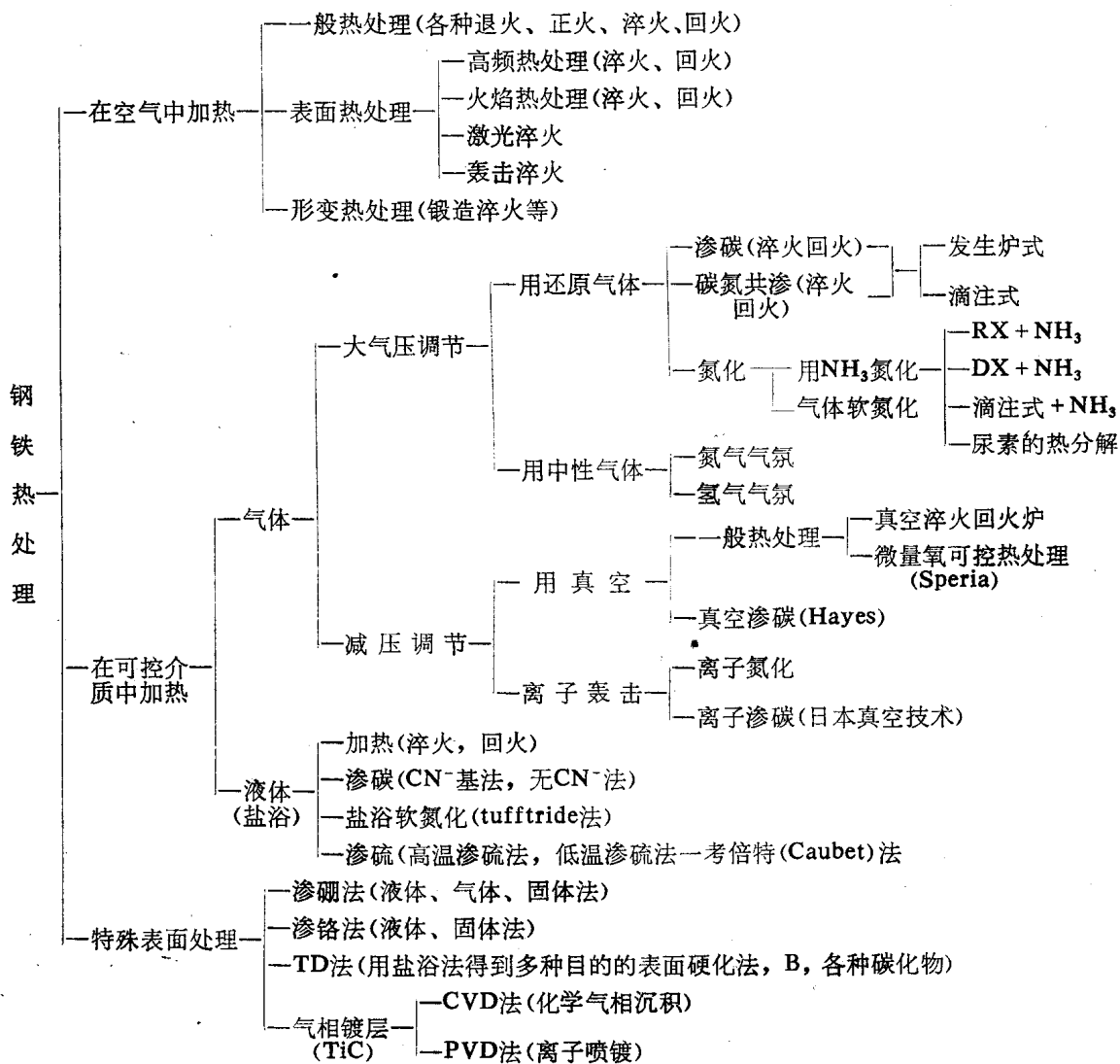
假若这是可能的,那么机械加工也许会进一步改善。

关于热处理设备,热处理工艺作为机械加工的一个工艺而存在。有必要把热处理设备改成专用设备。热处理设备作为机床的一种布置在工艺流程中。减少零件流动次数,提高质量管理,性能、成本及产量管理等方面的收益将是不可估量的。

热处理工艺的现状与趋势

钢铁热处理工艺的研究近十多年来极其活跃。现在,刚刚出现了稳定时期。尖端技术的发展受到重视。表3列出了这些工艺系统。在此,着重叙述现在及将来都受到要视的技术及其动向。

表3 钢铁热处理技术系统一览表(藤 沢)



在空气中加热

将来要发展的工艺是高频热处理,火焰处理等表面硬化处理。由于对耐磨零件可以进行局部硬化,因而在进入节能时代是极其

有希望的技术。高频热处理产品性能稳定,应用广泛,效果良好,但还有线圈设计上的问题。

① 火焰热处理

以前采取气体火焰热处理方式时,由于火焰不稳定,因而不宜作为大批量产品的表面处理。但是,最近从美国西勒斯 (Selas) 等公司引进的技术,解决了这些难题。这些技术的要点在于:装上能使气体完全燃烧的空气与燃料预先混合的装置和设计成各种形状的烧咀。这种技术能够用完全燃烧的火焰直接加热零件,与从前在燃烧炉和电炉里加热耐火砖,利用其辐射热加热零件相比,热效率极高,节约能量,因而受到欢迎。

② 锻造淬火

热模锻之后,如利用锻件的余热直接进行淬火回火,就可节约能量。关于锻件淬火,已有许多研究^[2,3],作为毛坯调质技术将来是有希望的。但是从现场来看,目前还有不明确的因素,特别是锻造加热的组织(魏氏组织)的出现和到达淬火回火温度的时间与淬裂的关系等,还需要进行许多研究工作。

③ 激光淬火

美国已经采用二氧化碳气体激光的高精度局部淬火技术。可以考虑把激光技术扩大运用于模具、精密小零件、刀具上面。

④ 轰击淬火

钢经快速加热淬火后,马氏体组织具有特殊性^[4]。在钢铁快速加热方法中有通过大型变压器利用低电压、大电流对小型工件直接通电瞬时加热冷却的方法以及用超高频电流对零件表面进行瞬时加热冷却的方法。文献^[5]介绍了关于西德的轰击淬火装置,据说当频率为7.12兆赫时,1/1000秒可以加热到淬火温度。由于加热层很薄,可以自然冷却。工具和刀具的刀刃部分淬火时,工具钢通常可得到硬度达HV900—1200的马氏体组织,晶粒细,脆性小,在普通腐蚀液中不受腐蚀,具有良好的耐蚀性。

⑤ 直接通电加热淬火

直接通电加热的方法是利用低电压、大电流直接加热零件的方法,用它来加热热锻或温锻螺纹等零件。也运用于加热电阻大的

线状或棒状热处理工件。由于节约能源,这种方法有希望扩大其应用范围。

在各种介质中加热

这种热处理,大体上是机械加工后的零件热处理。因此,热处理的方式,除材料本身的耐久性之外,对表面的光洁度、热处理变形程度也有影响。根据上述原因,由表3看出,这种技术分成许多种类。必须正确选择与零件式样相适应的工艺。下面对几个有发展前途的方法加以说明。

① 真空热处理

真空加热炉已广泛用于精密模具、工具等的热处理。其理由是在已排气的室里加热,表面光亮,变形小。这些特点的详细情况,可参看文献^[7]。钢铁真空热处理在经济上是不合算的,除高速钢外,模具钢的热处理温度最高仅为1050℃左右,在这样低的温度下,发热体的辐射热小,真空中没有热传导和对流,因而向零件传热的效率很低。现在抽气后通入氮气密封加热,从而排除了高温加热时零件脱Cr、Mo的不利因素。从前,真空加热炉的研究不是用在钢铁上,而主要是用于高温加热活性金属(钛、钼等)的热处理。变形小是公认的事实,其原因在于加热升温时间迟缓。

② 微量氧可控气氛热处理(Speria)

经过改进用于钢铁的微量氧可控气氛热处理炉,已作为本公司的专利出售。这种方式的细节载于文献^[8]中,用泵抽出密闭式马弗炉中的空气,然后通入氮气密闭加热。气氛的计量控制方法的特征是:用具有传导特性的氧化锆(ZrO_2)离子的固体半导体直接测量气氛中的微量氧,然后通入微量还原性气体,可进行自动控制。如果采用这种炉子,不仅设备费用十分便宜,而且在1050℃以下便于实现内容广泛的光亮热处理(淬火、回火、去除应力退火、球化退火等)。

③ 快速渗碳淬火

如表3所示,发展了许多渗碳方式。将来,特别是随着渗碳时间的缩短,在机械加

工工艺中,可能要求将这种设备和机床组成流水线。现在需要的渗碳时间长,能量费用高,对将来是极为不利的。下面概述几个快速渗碳的实例。

a. 真空渗碳法(G. I. Hayes公司)

把炉内气压抽到 10^{-2} 托之后,作为渗碳气体的 CH_4 等直接通入真空炉内。由于 $\text{CH}_4 \rightarrow [\text{C}] + 2\text{H}_2$ 的热分解而进行渗碳,渗碳温度为 1030°C ,高温是它的特征。由于渗碳温度的提高,就能使用生的 CH_4 。从这种工艺发表以来已经过了几年。但是,在生产中的使用还留待今后解决。由于高温渗碳使材料晶粒长大而引起脆化和变形量的增加等问题应当解决。

b. 离子渗碳^[10](日本真空技术K.K.)

这是与最近广泛应用的离子氮化技术相抗衡的方法。把渗碳零件在真空中加热,在渗碳温度(通常是 960°C)下通入几个托的纯 C_2H_2 。(原文误写成 H_2H_2 ——译者)气体,与此同时,作为阴极的渗碳零件与阳极间引起辉光放电,产生的碳离子轰击渗碳零件表面而进行渗碳,因而也称为碳的低能离子注入法。由于渗碳温度低,渗碳时间为过去方法的二分之一。如能解决设备价格高的问题,这种工艺是有发展前途的。

④ 气体软氮化

这种方法是消除Tufftride法为中心的盐浴软氮化的污染为目标,近几年才发展起来的一项技术。由表3看出,气体软氮化技术大体上分为一般压力气体中操作的方式和在减压下的离子轰击的氮化方式。氮化层比盐浴法的致密,氮化物的组成也可以调整,因而正在用于代替镀铬的耐腐蚀层。

⑤ 盐浴热处理

盐浴热处理广泛运用于处理品种多数量少的工件,设备费用也比较便宜,但由于废水污染和废盐的问题难以大量采用。但是,又不能全部取消,只要采取保护措施,今后也会继续使用下去。其中,特别是低温渗碳法(Caubet法)^[11]将会受到重视。这种方法

处理的温度在 200°C 以下,如果经淬火或者渗碳淬火的工件进行低温渗碳,就会进一步提高耐磨性。

特殊表面处理

所谓表面处理就是钢铁材料表面渗碳扩散硼、铬、硅等元素的方法和铬、钒、钨、钛等的碳化物在表面沉积的方法。处理后工件表面有很高的硬度,即使在 $600-800^\circ\text{C}$ 高温下工作,硬度也不降低,故用于锻压模具、冷锻模具等,耐磨性能有显著提高。但是,这种表面处理在加工温度高达 $850-1000^\circ\text{C}$ 时,尚有问题。例如,如果处理SKD11钢金属表面,处理前的调质效果就失去作用。但对于空冷钢,由于表面处理空冷,内部质量因低温淬火硬化而得到补救。对于非空冷钢,在材质处理上还会有问题。

特殊表面处理中今后受重视的方式有丰田的TD^[12]法和东洋工业的TiC气相沉积法。特别是处理模具能显著提高耐磨性和延长寿命。

参 考 文 献

- [1] 藤沢: ガス浸炭炉の構造と選び方,《铸锻造》(1974) p.29—36.
- [2] 前田: 鍛造焼入れ(日刊工业新闻社刊).
- [3] 渡沢は力: 鍛造焼入れの自動車部品への適用,《热处理》,1978, 18, №5.
- [4] 横田清义博士記念论文集(産报刊).
- [5] 盐谷: 盐浴热处理炉と撃衝焼入れ装置,《铸锻造と热处理》,1978, №8.
- [6] 藤沢: 応用机械工学(大河出版),1976, 8月号
- [7] 山中久彦: 真空热处理(工业技術ライブラリー)日刊工业新闻社刊.
- [8] 小林、拙沢: 光辉热处理炉のふん囲気制御,《热处理》,1977, №6.
- [9] 大和久: 无公害热处理技術(p.242~261),工业调查会刊(1973).
- [10] 米田: イオン浸炭装置,《铸锻造と热处理》,1978, №9.
- [11] 大和久: 无公害热处理技術(p.212~223),工业调查会刊(1973).
- [12] 新井、远藤:《热处理》,1975, 15, №1.

原载《铸锻造と热处理》,1979, №2, 42—46.

[应永铭译 龚士弘 蒋国栋校]

1978年美国金属学会热处理会议

美国金属学会热处理会议于10月10日到12日在芝加哥举行,有2400多人参加了会议。

会议收到108篇论文,会议讨论了下列题目:淬透性和淬火;设备改革;国际发展;气氛热处理;盐浴热处理;工艺和质量控制;能量管理;产品改良;齿轮热处理和大批量热处理;表面热处理选择;高温渗碳;一次冲击感应硬化;奥氏体和可锻化;表面硬化和气氛选择。

在这篇专门的报告里介绍一些有关高温渗碳,热处理气氛选择,新的表面硬化技术和能量管理的论文。

高温渗碳

虽然多年来早已知道,气体渗碳温度超过950℃具有缩短循环时间的潜力,然而工业上还是不愿意采用这一技术。这种抵制是由于一些技术上的限制(例如工件在处理后的晶粒长大和变形,炉子构件的寿命,适当控制气氛的能力)以及人们的习惯看法。1970年, Nick Milano 对后者作过扼要的估计,他在1978年任美国金属学会主席,一贯主张高温渗碳。

高温渗碳综述

F. J. Mahler

作者对于一些长期存在的现象提出如下几方面的问题:

处理零件的机械性能

对SAE 8620、4620、9310、1020、和1117钢,成功地试验了在925、980、1040和1090℃下奥氏体化处理足够次数后达到1.5毫米有效层深。试验表明,8620、4620或9310钢没有显著的晶粒长大,只有1020和1170钢,由于缺少晶粒边界抑制成分,显示

出晶粒有中等程度的长大,用减少次数的方法看来可以补偿高温影响。同样,决定于时间和温度的内部氧化渗透深度也没有明显的差别。专门对8620钢进行了拉伸、冲击和疲劳试验,结果表明,在925—1040℃温度范围内热处理后的性能没有显著不同。

处理零件的变形

从加热时的热梯度、冷却和淬火应力及加工应力的消除上看,高温渗碳时变形的原因和传统方法时相同。但是,蠕变可能是一个限制因素,增加了的塑性流动限制着尺寸、形状或装载容量,并且增加了卡紧的必要性。

夹具的变形

由于在高温下超过蠕变极限,料盘、料篮和夹具的变形是个严重的问题,这可以通过选择材料,设计和装载技术来解决。

炉子结构材料

炉用材料目前不是主要问题,耐火砖能有效地用于超过1100℃的温度。炉墙绝热结构能很容易改成维持满意的炉外壁温度,毡衬材料证明也很好用。但是,合金成分应根据高温渗碳要求而提高(根据渗碳时的热强度,抗渗碳能力,抗氧化性,加热元件和辐射加热管的过热容量,以及可加工性)。现有材料大多具有这些性能,例如按照蠕变数据,RA330可用于925℃,RA333可用于980℃,而Inconel 617可以在更高的温度下使用。设计上的修改可能只是增加支架密度,另外可选用非金属材料零件,如碳化硅轨条。

气氛控制

高温时吸热气氛参数的测量精度是控制的基础。以0—0.5%CO₂为基础的、调整精度为±1%的红外线分析仪控制,在1040℃下的目标表面碳浓度为±0.1%C(相当于

925℃下的 $\pm 0.04\%C$)时的不合格偏差可达 $\pm 0.1\%C$ 。而使用 CO_2 范围为0—0.1%、精度相同的仪器在高温时会达到的合格偏差只有 $\pm 0.03\%C$ 。露点仪和氧探头的优点是与碳势成线性关系,在1040℃下控制精度没有变化。但是,氧探头的寿命在高温时会明显降低。

因此可以断定,高温渗碳的工业仪器的障碍不是主要的困难。在另一方面,通过周期时间的降低使产量增加,炉子较小,能量消耗较低和成本降低是令人鼓舞的。这些优点的重要性取决于所要求的层深,其详细情况, Mahler曾对周期炉和连续炉的操作作过阐述。

在周期炉中,例如对760×1220×760毫米表面超级全能密封淬火炉,在925和1040℃下作了比较试验。结果概括于图1中。在同样的前提和条件下,当有效层深超过1.6毫米时能量能更有效地利用。同样,当有效层深大于0.9毫米时,高温处理常常能增加生产率。

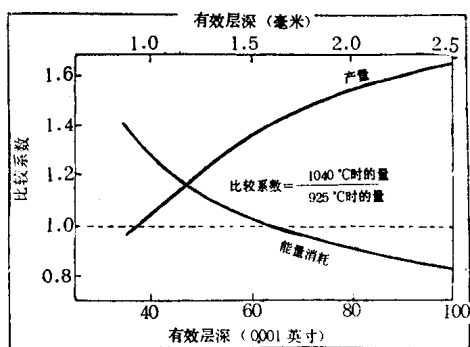


图1 密封淬火炉在925和1040℃的能量消耗和产量与有效层深的关系比较。炉子由带换热器的煤气辐射管加热,用压缩空气从渗碳温度冷却到845℃,保温30分钟进行淬火;绝热材料按照1040℃制备,热交换系数作相应调节

必须指出,目前这种炉子1040℃时的装料比925℃时的最大装料的一半略多一些。随着设计的修改这种比率还会增加,因此会进一步促进高温渗碳。另外, Mahler强调此

图的基础是炉子以最大比容量运行的,保持设备满负载,是高温渗碳获得最佳效果的不可缺少的因素。

高温渗碳的经济和金相状况

N. P. Milano

美国Caterpillar拖拉机公司用SAE10B16材料制造履带节衬套和轴。在1971年和1974年之间进行了一系列广泛试验,包括估价晶粒长大,机械和物理性能,田间试验,证实在对炉用设施改造后,在1010℃时渗碳比在925℃时更可行。现在,用16根左右辐射管燃烧的均热式气体渗碳炉,直径1220毫米,深1830毫米,在1010℃下使工件达到有效层深2.4—2.8毫米的循环时间为20小时,如果用925℃,则要40小时,所以可节约50%能量。到目前为止,虽然已经安装氧探头,但气氛控制仍通过Alnor露点仪测量。Caterpillar拖拉机公司大概是美国最大的氧探头使用单位,目前全国使用的约有47个探头。

当操作温度由950℃提高到1010℃后,炉用设施寿命降低,有效地进行炉子维修的重要作用就突出了,至少每18或24个月计划大修一次。尽管如此,增加的费用仍然低于因生产率增加和能量消耗降低而增加的收益。在两台有22个料盘的连续渗碳炉中以1010℃处理轴时获得了类似的结果。该公司认为,高温渗碳目前是“有生命力的方法”,并不降低产品质量。

高温渗碳的控制

G. O. Ratliff

Shore金属处理公司只有一台间歇炉,从1968年起由于经济上需要采用1010℃渗碳。在最近二年内已将温度增加到1025℃。炉子是密封淬火式,装料尺寸760×1220×610毫米,带有陶瓷管和高铝红柱石炉膛。处理的典型零件是活塞销,衬套,孔齿,重量在0.5—130公斤之间。对一些会变形的薄

壁零件, 渗碳温度可以降低到 955℃, 但不得再降低。

高的装载密度是采用 Inconel 601 合金的料筐实现的, 料筐可用 4—6 年。其四角配有加强筋, 保证工件完全由料筐支撑, 而不由其侧壁来支撑。炉室内的导向板确保循环顺利和层深均匀。应该承认, 维修费用比用传统渗碳温度时大, 但是正在努力降低它。例如, 改用更好的料筐和夹具材料, 由 RA330 改为 601 合金可增加寿命 30%。用 Inconel 617 时的费用增加一倍, 其寿命较长, 但制造问题尚有待解决。

为了减小变形, 对高温渗碳工件始终要缓慢冷却和二次加热淬火。在混合装料时, 这种方法也促使产生不同的有效层深和芯部特性。已经采用特殊的装夹技术。

图 2a 的数据是 Shore 公司几年来观察积累起来的。由图可知 1010℃ 的温度可使渗碳过程加速到什么程度。使用了一种三级强渗/扩散技术, 包括碳势逐渐降低 (1.4% C, 1.2% C, 0.8—0.9% C), 使高温渗碳既有“化学势”的优点又有“热势”的优点。因此, 图 2b 的碳浓度曲线上有一段鼓了起来, 从而增大了有效层深在总层深中所占的比例。

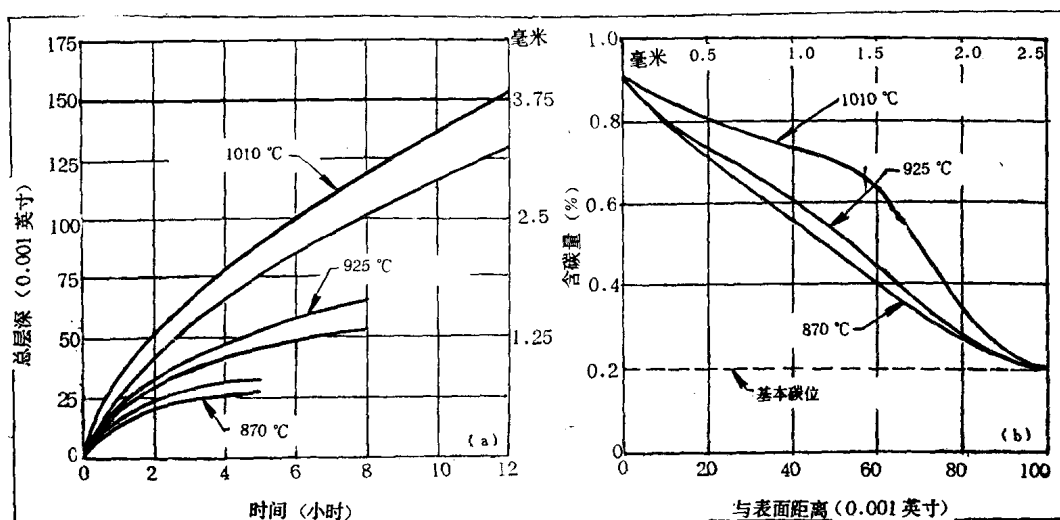


图2 增加渗碳温度的效果: (a) 渗碳时间和总层深之间的关系; (b) 总层深相同时的含碳量曲线

气氛控制起初用双参数红外线系统进行 CO₂ 和露点测量。1 年半前改用碳传感器 (氧探头) 控制, 在 1010—1025℃ 下得出始终可重复的结果。

炉子气氛的选择

由于 70 年代初燃料价格大幅度增加和 1974 年推广劳动卫生和安全条例, 在英国, 正注意经济可行地选择制取热处理气氛的方法, 如: 放热式气氛及其衍生物和吸热式气氛。结果之一是目前已经相当完备地确定了使用以大量贮存的氮气为基础的气氛进行比较简单的热处理, 如退火和硬化。

用氨基气氛前室渗碳在生产中应用的经济性

J. Artopoeus J. R. Dale

Davis 和 Beck 介绍过一种新的氨基渗碳和碳氮共渗过程, 他们声称可将天然气消耗量减少 85%, 能得出和传统的吸热式气氛处理相似的结果, 费用节约可达 50%。这一技术的主要内容是将 N₂ 直接通入密封炉的前室, 极大地降低了前室气氛的可燃性和爆炸危险性。在加热炉室内, 只输入碳氢化合物和一种氧化介质。在用天然气时, 氧化添加剂可能是水 (直接滴入炉室内), 用丙烷时, 可以用水或空气。碳氮共渗时加入氨。因

此,该工艺不直接用氮作为载体气,然而氮可用作清扫气。它要求的炉内停留时间较长,有助于提高气氛平衡的程度、活性气氛浓度、反应速率和碳至工件表面的转移速度。将直接读数的碳势传感器和控制器,直接装在炉室内控制碳氢化合物流量,可在前室炉中不用载体气进行洁净而安全的渗碳。

经济性取决于较贵气体的使用量要少。例如一个典型的炉子用 29米³/小时吸热气氛, 2米³/小时天然气作富化气,而上述工艺只要6米³/小时氮气和1.4米³/小时天然气。按照美国的价格可以节省41%费用。节约的潜力取决于吸热式气氛的实际费用,这是由各种变数综合确定的。

用氮作载体气的渗碳生产经验

E. J. Arndt

Air Products公司的渗碳和碳氮共渗工艺称为CAP系统,利用添加碳氢化合物的方法控制碳势,用一种以氮作为载体气的氧化气体。两种最普通混合物是以天然气为基的CAP1和以丙烷为基的CAP2,见表1。

对于CAP1系统已经积累了大量生产经验。在炉内控制甲烷和CO₂反应,产生必要的CO和H₂浓度,以保证洁净而有效地渗碳。气氛中的碳氢化合物过量后会产生炭黑,这可以利用氧化气氛的化学反应来消除。输入气氛中的碳势与甲烷和CO₂之比的关系已经确定,这是进行有效的碳势控制所必需的(图3)。

在推广氮基气氛时,往往强调它能使天然气的使用量降到最小值,从而能节约成本和提高生产率等等。尽管如此,能量的储备是一个重要的方面, Air Products公司已受美

表 1 Air Products公司两种CAP系统中用的气氛混合物

系 统	氮	碳氢化合物	氧化气体
CAP 1	80%	17%CH ₄	3%CO ₂
CAP 2	85%	3%C ₃ H ₈	12%空气

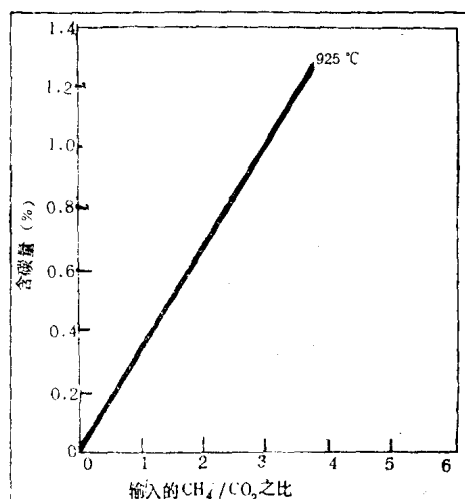


图3 在CAP工艺中925℃下的碳势与输入的CH₄/CO₂比的关系

国政府能源部委托与 Metallurgical Processing公司共同估价节省情况。

Svec和Laughlin最近发表的评论指出:

SAE 8620 材料用 CAP工艺渗碳与吸热式气氛渗碳在组织和性能上没有差别。

经济的新的热处理工艺

R. H. Kohler

Union Carbide公司是美国最大的液氮供应者,它认为美国到1985年民用天然气供应估计要受到限制。在热处理气氛方面的解决办法是采用所谓UCAR系统。

这项研究的不同之处在于用氮和高冶金纯甲醇热处理液体(UCAR HTF)的混合物合成吸热式气体,用于气体渗碳、碳氮共渗、复碳或直接淬火(表2)。与天然气没有关系,或者只在渗碳和碳氮共渗时还保留一

表 2 吸热式气氛成分与Union Carbide UCAR系统生产的气氛的比较

成 分	UCAR系统	吸热式气氛
CO%	18—23	20—23
H ₂ %	27—45	30—40
N ₂ %	34—47	40—47
CO ₂ %	0.1—0.5	0.15—0.5
水蒸汽%	0.1—1.0	0.5—1.0

点关系。因为炉气氛与吸热气氛类似，所以可以应用传统的控制技术（也就是露点仪，红外线CO₂分析仪，氧探头）。

一种接近炉子气氛的经济氮气

J. A. Zahniser

这是将含有典型成份72% N₂，18%水蒸汽，8% CO₂，2% O₂的辐射管燃烧气氛，作为炉气氛原料。辐射管排出的炽热废气与甲烷混合后通过催化剂除氧，再用压力送至分子筛吸收CO₂和水蒸汽。CO和H₂含量的监控是控制甲烷加入量的基础。产物（92—99% N₂，20ppm CO₂，10ppm O₂，0—4% CO和H₂，微量CH₄，露点-60℃）加压储存，以平衡辐射管燃烧熄灭时的波动。

系统投资二年回收，因为节省天然气。它由Holcroft炉子制造商经销，推广和应用发展。

新的表面硬化法

几乎30%的会议论文是专门谈表面处理的，强调用新的技术控制常规过程，例如用氧探头和微处理机控制气体渗碳，以及选择工艺介质方面的新方法，其中包括电子束热处理，激光热处理，真空渗碳，等离子氧化，等离子渗碳，流动床加热，无氰渗碳和TD工艺。这里探讨一下其中一些过程。

电子束热处理

R. I. King

Sciaky公司采用电子束技术已有18年了，它出售电子束热处理设备，三年前取名“Beam-Treating”为商标。

电子束是一束高能电子流，从电子枪内激发出来。电子枪由作为电子发射板的热丝和以高压加速电子的阳极所组成。聚焦线圈用于集中电子束，它与发射源的距离可以调节，偏转线圈用于按要求移动电子束。和激光不同的是整个系统包括工件在真空中工作，工作室压力维持在不低于50微米，允许

快速抽真空（0.03米³炉室抽5秒钟）。

电子束碰撞工件，能量就传给表面，将表面很快加热到奥氏体化温度。当电子束加热结束，热就很快消失——自淬火，很快使表面硬化（工件总体积与表层体积至少超过5:1）

实际上，为了淬硬一个区域，电子束要在一系列的点（网面）上移动。处理4.8厘米²面积的时间一般平均2—2.5秒。一般规定1.5毫米层深时为970厘米²/分，或0.75毫米时为2580厘米²/分。微型计算机使电子束通过预定的点阵，控制在给定点的停留时间以及监控操作电压、电流、焦距和发现缺陷。

美国Chrysler厂最近安装了价值282000美元的系统，用以对自动转向离合器凸轮（SAE 5060钢）进行局部硬化，生产率每小时250个。这个工艺解决了过去用感应加热处理不能解决的变形问题。

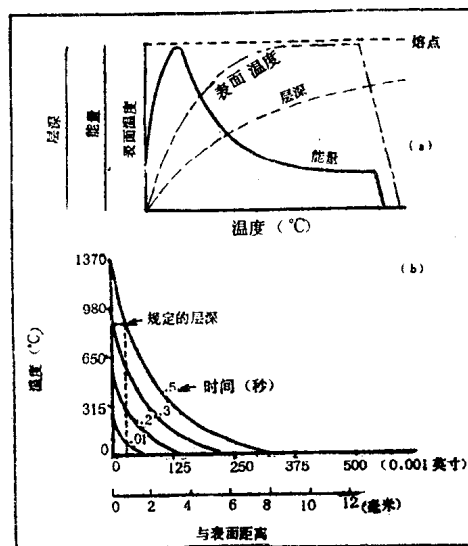


图4 电子束加热的一些工艺参数(a)层深、能量输入和表面温度与时间的关系；(b)达到的典型热梯度曲线

此外还应用于包括球头销，摇臂，活塞环，凸轮轴，曲轴，轴承环和叶片。

激光淬火

J. A. Wineman

七十年代初，通用汽车公司Saginaw 驾

驶装置分厂进行了一项研究,以确定如何延长驾驶装置铁素体可锻铸铁壳体的使用寿命。壳体的孔容易磨损。材料没有选用珠光体可锻铁和球铁,主要因为加工费用高。考虑过采用附加处理,包括氮碳共渗,但最后的解决办法是选用孔的局部淬火。虽然感应加热可以降低90%磨损量,但变形量过大而未采用。最终采用了激光淬火,不进行整个孔表面的淬火硬化,而在机械载荷最大的点上淬火硬化5条分离的耐磨带。耐磨带的测量结果是宽1.5—2.5毫米,深0.25毫米,硬度HRC58—62,采用自淬火方法。

Saginaw现在有17个激光器(500瓦和1000瓦)一天处理33000个壳体。硬化速度用1000瓦激光器时是46毫米/分,用500瓦激光器时为25毫米/分。

Saginaw已看到激光技术的潜在发展用途,包括各种零件的圆角淬火,发动机阀孔,易磨损垫圈,滚针轴承座圈和修理工作。在此期间,通用汽车公司La Grange电力拖动分部安装了4个5千瓦激光器进行铸铁汽缸垫片淬火。

等离子体渗碳:原理和节能潜力

W. L. Grube

原理与等离子体氮化相似,工件构成阴极。处理时向真空炉室输入直流电及少量添加扩散元素的气氛。这时,宁可用专门的对应电极而不用炉壁作阳极。另一差别是等离子体不能独立供给满足工艺过程需要的热量,所以要外加热源。

渗碳温度在1040℃左右,碳由添加的碳氢化合物中获得(有时要用氮气冲淡),只在靠近工件表面产生均匀的薄的碳层。这种方法消除了真空渗碳中常见的炭黑。作者对两种工艺做了比较,声称等离子体渗碳的总周期时间只有真空渗碳的一半。

在等离子体中渗碳非常快,例如:AISI 1018试样在1050℃下处理52分钟就可达到2毫米厚的有效层深。作者认为这是由

于高温、较高的有效“碳势”和在等离子体作用下碳进入钢件表面的较高速度。

这种一段处理法使渗碳层剖面产生过高碳势的平直段。因此,采用加速扩散程序阻止这种效应,典型的工艺是在1050℃下渗碳10分钟,在同样温度下扩散处理30分钟,使有效层深达到1毫米。

气体渗碳与等离子体渗碳的总能量消耗比例为1:0.08。后者的操作费用降低50—60%,天然气耗量降低大于99%。其它优点是渗层均匀和能对盲孔渗碳。到目前为止,实验室规模试验已证实了这个原理,成功地实现大量生产只等研制出能处理大量零件的设备。下一阶段将在一台大炉子上进行较大规模的试验。

日本的TD工艺的应用和机理

T. Arai

TD工艺是专利的扩散处理法,可在铁基材料上形成金属碳化物的无孔覆层,这些金属有Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, 或W,碳由基体材料供应,可利用粉末,糊膏,浸渍或电镀技术。用融盐浸渍法时,典型的覆层是碳化钒(3200—3500HV),碳化铌(2500—3500HV),碳化铬(1400—1900HV),碳化钛(3300—3900HV),具有较高的硬度和韧性。覆层具有耐磨性,耐蚀性和高温下的抗氧化性(图5)。因此,TD法可应用于工具和模具,机器零件,夹具和块规,其使用寿命可提高2—20倍。

操作时必须先清洗工件,然后浸入浴槽中1—10小时,时间长短取决于规定的碳化物层深度,大多数实用最佳厚度为5—15微米。所用的盐包含一种混合物,其中主要是硼砂加上含碳化物形成元素的其它成分(常常是铁合金),温度在800—1050℃范围内,选得与工件的淬火温度相应。浸渍以后,工件缓冷或淬火和回火,决定于对基体材料的性能要求。

TD工艺适合于大多数铁基材料,包括

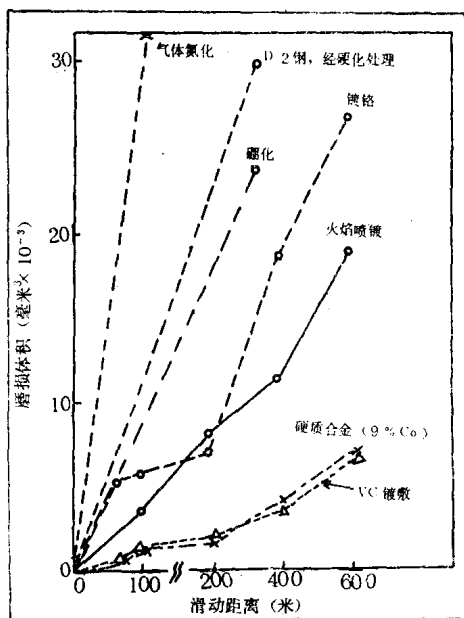


图5 用TD法加碳化钒覆层的冷作模具钢滑动摩擦时的耐磨性与其他处理方法及材料的比较

工具钢，结构钢和铸铁；低碳钢可用原来的渗碳处理以利于碳化物的形成。

复式能量加热系统

E. K. Nilsen

1976年Midland Ross公司宣布一项技术突破，研制了一个独特的系统，这一系统能够用于由传统的燃料加热辐射管间接加热的炉子。称为ERT(电辐射管)系统的设计允许使用煤气或电加热。

根据15年前在碳基气氛中运用管状合金加热元件(Prolectric)的经验，管子的尺寸已经增加到和燃料炉的要求一致。为了符合严格的断面公差，采用管壁厚6.25毫米或小一点的加过工的管子并将设备的转换器数目减至最少。这种设备焊接在厚壁铸造接管上，接管的另一端焊接在可以附接电缆或母线的凸缘上。这样设计就可用标准吸入型烧嘴，配管费用最低。

现在已经售出近20台设备，这种系统可用于密封淬火炉，连续气体渗碳炉，输送带式淬火炉，箱式气氛炉，辊子或推杆料盘球

而退火炉和旋转罐式渗碳炉。

该公司断言具有与常规辐射管的同样的性能和寿命。

短周期可锻化热处理

J. A. Lincoln

由于对铸件化学成分的重视，传统的可锻化周期已经从48小时降到20—25小时，作者认为应用包括等温淬火的短周期可锻化处理产生一种呈贝氏体基体的石墨组织，能够进一步缩短时间。

这种新工艺的典型周期，总共6小时，其中5小时是在955℃下进行，再在315℃的盐中等温淬火，再保温一段时间，以保证全部变成贝氏体。最短的总可锻化周期可在3小时内完成，但这时铸铁化学成分对成功与否影响极大。

在短周期可锻化中，能量消耗比一般处理减少50%，炉子也小得多。

开始用含碳2.25—2.5%的白口铸铁与一般方法作了对比，短周期贝氏体处理能得到石墨分布更细，含化合碳的比例更高(1.5%对0.6%)，显微组织也含有二次渗碳体，从而进一步提高了疲劳性能和耐磨性。在一定的延伸率下，抗拉强度和冲击性能也优于一般可锻铸铁。

短周期可锻化处理的结果取决于最初的白口铸铁的组织结构。例如，由于锰对碳化物溶解速度的影响，含有大于0.35% Mn的铸铁反应迟缓，可处理的最大截面尺寸是89毫米。

作者强调，这一发展使可锻铸铁在能量和价格上可与球墨铸铁竞争。

通过能量贮存达到节约的例子

J. Ries

美国Lindberg公司1977年在能量消耗上估计可以节约64万美元，采取措施包括：

1. 严密监控气氛燃烧设备的流程和温度。

渗碳钢的断裂抗力

——第一部分 断裂韧性

Y. E. Smith D. E. Diesburg

通常渗碳钢主要是根据心部和表层的淬透性来选择的。对断裂抗力的评价常常只限于使用夏氏 (Charpy) 或爱氏 (Izod) 冲击试验, 但这两种方法并不能很好的反映出断裂抗力。通常采用高镍含量及高残余奥氏体量以期改善这方面的性能, 但正如下所述, 并不能以此提高断裂韧性。

不久前曾有文章介绍了某些改型的和标准成分的渗碳钢的夏氏冲击抗力、淬透性及热处理特点^[1]。随后, 评定化学成分和工艺参数变化对心部和表层断裂抗力各方面影响的方法又有了进展。这一工作的某些部分已经发表在最近的一些技术文献上^[2, 3, 4]。本文是这方面研究的主要结果总结中三个部分的第一部分。其余两部分将分别题为“冲击断裂”和“冲击疲劳”。

韧性梯度: 断裂韧性已经成为广泛采用的断裂抗力的判据。在均质材料中测定断裂

韧性是比较容易的。在有成分梯度的渗碳表层中, 测定断裂韧性虽然比较困难, 但也是可能的。表层内的断裂韧性可能会受到碳浓度梯度、硬度梯度, 以及残余应力、残余奥氏体和其它显微结构特点等方面变化的影响。已经发现, 确定渗碳层中断裂韧性的梯度是一种评价残余应力和残余奥氏体对表层断裂抗力影响的有效方法。

结果摘要: 在渗碳钢中以靠近渗层表面到接近心部的深度上, 对断裂韧性进行了测定。同这些数据相联系的最值得注意的结果如下:

1. 一般说来, 断裂韧性在靠近渗层表面处最低, 并且随着向心部的趋近而增加。这种关系主要是受含碳量所控制。

2. 在残余奥氏体量不同的 EX32 和 SAE 4820 钢中, 断裂韧性与碳浓度梯度的关系曲线相同, 这表明残余奥氏体量没什么影响。

2. 加强炉子气密性使气氛消耗最少。
3. 在煤气燃烧炉上安装自制的换热器 (可以节约30%)。
4. 有规律地调整烧嘴以便达到空气与煤气的最佳比值。
5. 安装陶瓷纤维衬里, 特别在周期很短的炉内。
6. 在电炉中安装负荷控制器, 调整最大负荷装炉量。
7. 覆盖盐浴使辐射热减至最小。如盐浴池尺寸为11×2×2米每年可以节省17000美元。
8. 使连续输送带式炉装料最佳化——

可以增加2—3倍装料量, 而不用增加更多能量。

9. 抓紧炉子进度, 加以推广。

作者强调管理控制的重要性, 如建立有效的标准, 制订计划和确保有规则地查帐以监视节约, 以及动员工作人员坚持的必要性。

据称采用这种方法以后已经节省 100 万美元。

(参考文献略)

原载 *«Heat Treatment of Metals»*,
1979, 6, №1, 1—12.

[顾百揆译 姜勋昭校]

3. 在含碳量高 (0.6—1.0%) 的以 EX55 为基的钢中, 残余奥氏体对断裂韧性没有影响。

4. 对以 SAE8822 钢成分为基础而改型的一系列钢的渗碳层中, 单个合金元素 Mn、Cr、Ni 和 Mo 的影响分别作了评价, Mo 是能增加到相当高含量 (0.9%) 而不显著降低断裂韧性的唯一元素。

试样准备与试验方法

所评定的渗碳钢包括 SAE 8822 及其改型, SAE 4820 以及 EX32。这些钢的名义成分如下:

钢 号	合 金 元 素 (%)					
	C	Mn	Si	Ni	Cr	MO
SAE8822	0.22	0.87	0.27	0.55	0.50	0.35
SAE4820	0.20	0.60	0.27	3.50	—	0.25
EX32	0.20	0.80	0.27	0.87	0.55	0.52

断裂韧性试验是在夏氏的慢速弯曲试样上进行的, 试样是从锻造的 13×13 毫米方棒上切取的。试样放在 Leeds & Northrup Homocarb 型炉中, 在 0.90 或 1.05% C 的碳势下经 925℃ 渗碳 7 或 10 小时; 冷却到 845℃ 并在 65℃ 油 (温油) 中淬火或在 170℃ 油 (热油) 中淬火。所有试样都在 170℃ 回火 1 小时。

在试样表面上用电火花加工一个缺口, 使之生成一个裂纹, 而后在疲劳试验机上将裂纹扩展到所要求的深度, 这样使每一个试样得到一个控制到一定深度的疲劳裂纹。然后用三点慢弯曲法使试样破断。按 ASTM E399 的规定, 确定断裂韧性。长度不符合这一标准要求的较短裂纹除外。由于较硬表层的弹性很高, 所以这种偏差可不予考虑。

合金元素对韧性的影响

不同变种的 SAE8822 钢表层中的断裂韧性梯度如图 1 所示。这些钢在 0.9% C 的碳势下渗碳 7 小时, 表面的含碳量约 0.9% C, 在深度为 0.75 毫米处含碳量约为 0.5%。所有

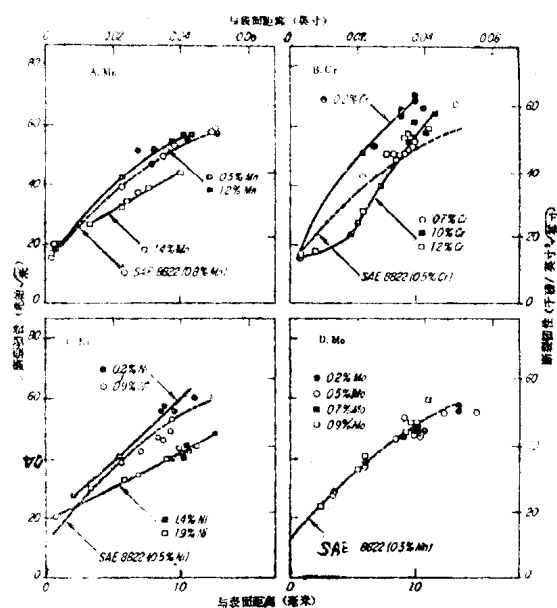


图 1 SAE 8822 及加入不同合金元素时, 渗碳层的断裂韧性梯度 (A: 加 Mn; B: 加 Cr; C: 加 Ni; D: 加 Mo)。仅有 Mo 能增加到相当的含量而不显著降低断裂韧性

的试样都在温油中淬火。由于淬透性不同, 心部的硬度在 HRC39 到 HRC45 范围内波动。这些钢的原始奥氏体晶粒度为 ASTM10 级。

一般说来, 断裂韧性梯度从渗层表面附近比较低的数值 (小于 20 兆帕√米, 或 18 千磅/英寸²√英寸) 变化到大约 1.0 毫米深度处的高于 50 兆帕√米 (45 千磅/英寸²√英寸), 这种基本倾向是由于渗层中碳含量及硬度变化的结果。残余应力的影响也很重要, 这将在下面加以讨论。

改变 Mn 含量从 0.5% 到 1.2% 时, 对断裂韧性梯度的影响很小, 如图 1A 所示。然而, 1.4% Mn 时断裂韧性有些降低。将 0.8% Mn (即 SAE8822 基本成分的钢) 的曲线再现在图 1B、C 和 D 上, 以资比较。

Cr 含量在 0.2—1.0% 范围时, 对断裂韧性梯度有影响, 如图 1B 所示。高 Cr 含量对渗层中间深度处的断裂韧性特别不利。而且 Cr 是在从基本成分减少含量时, 能使断裂韧性有所改善的唯一的元素。

Ni 的影响与 Mn 相类似, 如图 1C 所示。在含量范围为 0.2—0.9% 时, 其影响很小。

但含有1.4%和1.9% Ni的钢却使断裂韧性在表层中较大的深度有某些下降。

具有不同Mo含量钢的断裂韧性梯度示于图1D。在所试验的范围内,改变这一元素的含量对断裂韧性梯度没有明显的影响。

残余应力和残余奥氏体的影响

SAE 4820和EX 32钢在两种条件下的断裂韧性梯度示于图2。因为这两种钢的碳浓度梯度不同,所以图中画出的是断裂韧性与含碳量的关系曲线,而不是与渗层深度的关系曲线。上面已讨论过的SAE8822钢的断裂韧性梯度以同样的座标画在图2A上以资比较。

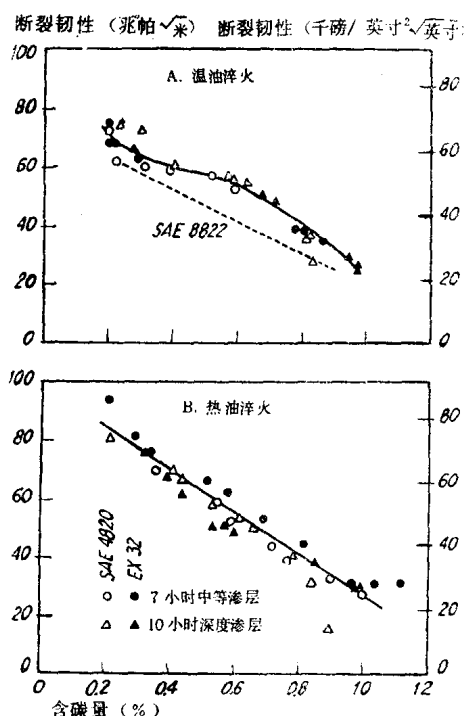


图2 SAE4820和EX32钢渗碳层的断裂韧性梯度(A: 温油淬火; B: 热油淬火)。其梯度代表着组织中存在残余应力时的断裂韧性

SAE4820和EX32钢的试样在1.05% C的碳势(以碳钢为基准)下进行渗碳。由于高镍钢中碳的溶解度较低,故SAE4820钢有大约0.85%的表面碳含量,而EX32钢则大约为0.95%。因而相应具有不同的碳浓度梯度。

在温油淬火的条件下,这两种钢有相类

似的断裂韧性梯度,而渗碳时间(层深)的影响很小。这两种钢在热油淬火条件下的表现也相当(图2B)。然而,层深对EX32钢的断裂韧性梯度的影响要比对SAE 4820钢的影响稍大些。当接近心部含碳量时,热油淬火试样显示较温油淬火试样为高的断裂韧性。在热油中冷却速度较慢,使心部出现较软的组织。

图2表明受残余应力影响的显微组织的断裂韧性。若残余应力梯度为已知时,在断裂韧性中由残余应力所造成的部分可以加以推算并扣除。曾用X射线衍射测定过许多试样的残余应力梯度以便进行这种推算。图3显示这两种钢将残余应力分量消除后的断裂韧性梯度。该图包括温油淬火和热油淬火两

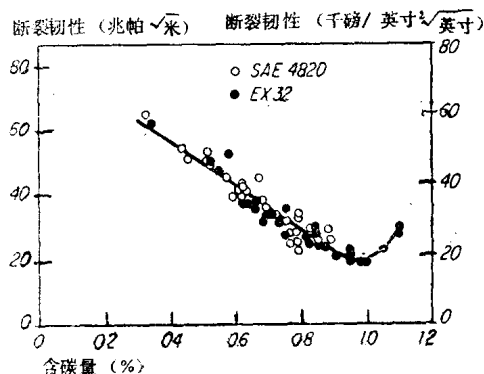


图3 SAE4820和EX32钢渗碳层扣除残余应力分量后的断裂韧性梯度。数据适用于温油和热油淬火两种试样

种试样。从这两种钢得到的数据都分布在同一曲线附近。这一曲线表明这两种钢的显微组织对断裂韧性的影响。

表层显微组织的一个重要特征是残余奥氏体。对这两种钢试样中残余奥氏体的分布梯度用X射线衍射进行了测定。如图4所示,残余奥氏体量是碳含量的函数。对于某一给定的碳含量,SAE 4820钢较EX 32钢有稍高的残余奥氏体量,可以预料这是由于SAE 4820钢有较高的含Ni量所致。一般来说,对表层某一给定的含碳量而言,EX 32钢仅有约为SAE 4820钢2/3的残余奥氏体量。