

第十七届国际热处理会议选集

国外热处理

上海科学技术文献出版社

前 言

第十七届国际热处理会议于一九七八年五月九日至十二日在西班牙巴塞罗那(Barcolone)召开。参加会议的有法国、西班牙、英国、美国、西德、保加利亚、匈牙利、日本、比利时、苏联、罗马尼亚、奥地利、瑞士等 15 个国家,我国也有代表团参加。在会上宣读的论文计有 52 篇。按论文的内容可归纳为 6 类:(1)热处理工艺的发展前景;(2)阐明金属在热处理过程中化学成分、组织结构的变化以及微观组织与宏观性能之间的内在联系。此类论文都用现代化的测试手段,所以找出的规律往往具有较普遍的意义,可以用来指导实际;(3)对热处理过程(或材料性能数据)作数学分析,在一系列反应中找出关键的反应,用数学式使之模式化。利用精确的仪器监测有关的工艺参数,达到用电子计算机控制热处理过程的目的。保证零件质量,发挥设备能力;(4)新旧工艺的研究和改进。研究各个工艺参数对热处理后金属的组织 and 性能的影响,找出最佳的工艺规程。这类论文工艺性较强,观察现象及分析问题虽不如第二类中的论文深入细致,但实用性强;(5)新设备的介绍。此类论文一般只介绍设备的优点和特点,适用范围,产品质量,经济效果,其中多半是由设计制造公司的技术人员所提出;(6)研究新旧金属材料对热处理的适应性和热处理后所达到的性质,以便正确地选用和处理材料,充分发挥材料的潜力。

从这些论文中我们可以初步看到欧洲热处理技术的现状和发展方向、科研动态和新技术、新工艺、新设备等方面的一些成就。

为此,本学组从中选择二十七篇论文组织了翻译。以供从事热处理的工作人员以及高等院校研究单位的有关专业人员参考。

上海机械工程学会热处理学组

一九七九年十二月

目 录

目前热处理技术进展的趋势	(1)
氮化工艺的进展	(9)
钢离子氮化时化合物层的形成条件和性能	(12)
钢氮化物层的抗大气腐蚀	(23)
低碳钢气体碳氮共渗(软氮化)的疲劳行为	(31)
表面活性对碳氮化合物层的形成和性能的影响	(38)
齿轮制造中用普通炉进行高温渗碳	(43)
渗碳和碳氮共渗表面层的淬透性	(59)
在电热石墨层中金属和合金渗碳的新方法	(71)
应用烈度试验标定和选择淬火油	(72)
液体介质中淬火冷却问题及其设备按流动程度标定液体的烈度	(83)
合理改善摩擦面的热处理和表面处理	(90)
钢铁材料渗硼的工艺、性能和应用	(93)
亚共析钢硼化物层的脆性	(98)
钢和钛合金表面处理料浆覆盖层的最近发展	(103)
钢中复合碳化物层的结构和成长	(107)
S. F. A. C* 数学模式在低合金钢技术数据的计算中的实际应用	(114)
预测钢在淬火中出现的变形和应力的实用方法	(121)
大直径轧辊双频感应淬火的工业应用和计算	(126)
工具淬火中合金钢的时间-温度-溶解图的近似实际应用	(135)
铬钢(1.0%C、1.5%Cr)块规热处理的新方法	(143)
在冲击疲劳下渗碳钢对裂纹开始发生的抗力	(150)
可控气氛、真空热处理设备和工艺的发展	(161)
用放热-吸热法制备吸热气氛	(172)
用于热处理的计算机	(176)
齿轮材料和热处理	(182)
淬透性在钢的热处理上的应用	(189)

目前热处理技术进展的趋势

[波兰] Szpunar 等

1. 金属材料生产的进展—— 热处理合理化的基础

材料的合理管理在世界各主要国家已成为科技和技术发展的主要问题之一,而这对金属材料特别有意义。目前能源和原材料的危机要求最大限度地发挥材料的潜力来节约材料。在最近三十年,着眼于降低材料的利用指数,提高零件寿命和工业产品的可靠性等的研究工作已成为推动热处理技术发展的有力因素。在工业生产中,除了非金属材料被越来越多地采用之外,应当看到金属及其合金仍然是机器结构的基本材料。对未来的预见可以得出明确结论,在所有的国家里,金属及其合金,特别是经过热处理的金属和合金的需用量将会有很明显的增长。

虽然世界上人口的增长很快,但世界上按人口计算粗钢的生产到2000年将增加到超过1955年按人口计算的五倍以上。工业化国家粗钢的生产可能比世界上其他国家多三倍以上。估计世界上按人口计算经过热处理的钢将有明显增加。

金属热处理技术目前的进展将出现以下趋势^[1]:

① 在金属及其合金的生产中热处理的比例将会增加。在1970~2000年期间,估计在工业发展的变化中,钢的热处理增长率将比钢生产的总增长率高三倍以上。1970年世界钢的生产已达六亿吨左右,到2000年估计将达到年产17.5亿吨左右的水平,为1970年的2.9倍。在1970~2000年期间需经热

处理的钢将由六千二百万吨上升到五亿六千万吨,为1970年的九倍^[2,3]。

② 在成品和半成品制造中采用热处理。

③ 提高热处理产品的使用寿命和热处理工艺的稳定性。

④ 降低热处理成本。

2. 热处理的进展

目前各国所采用的热处理工艺是各不相同的。工业化和高度工业化国家1975年的不同热处理方法的平均构成见图1所示^[2]。

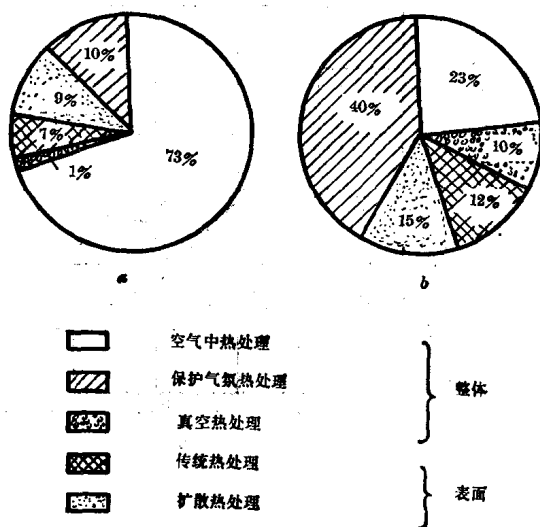


图 1

图2是对未来25年工业化国家热处理的数量和构成进展的预见。下面就是上述进展预见的一些结果。

图3示出在1975~2000年期间整体热处理和表面热处理构成可以预见的变化。从图中可看到整体热处理的数量和经热处理

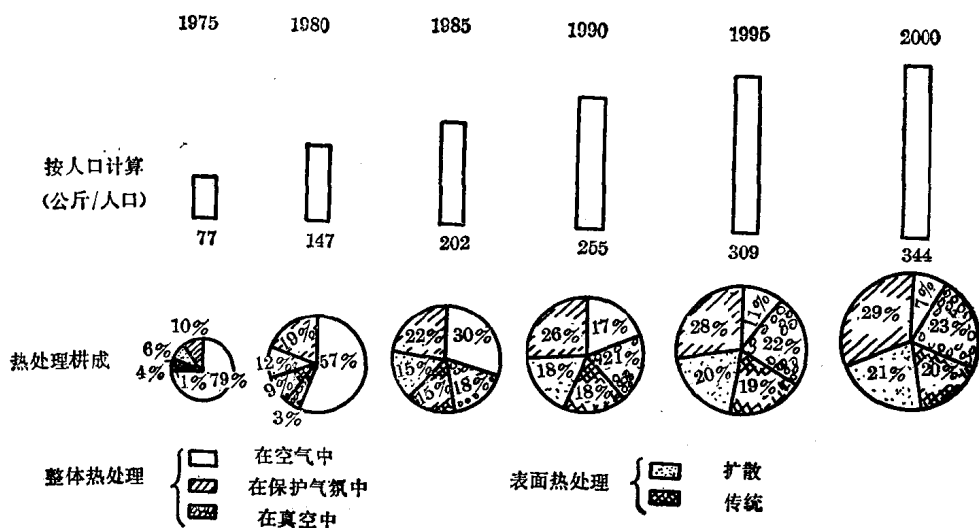


图 2

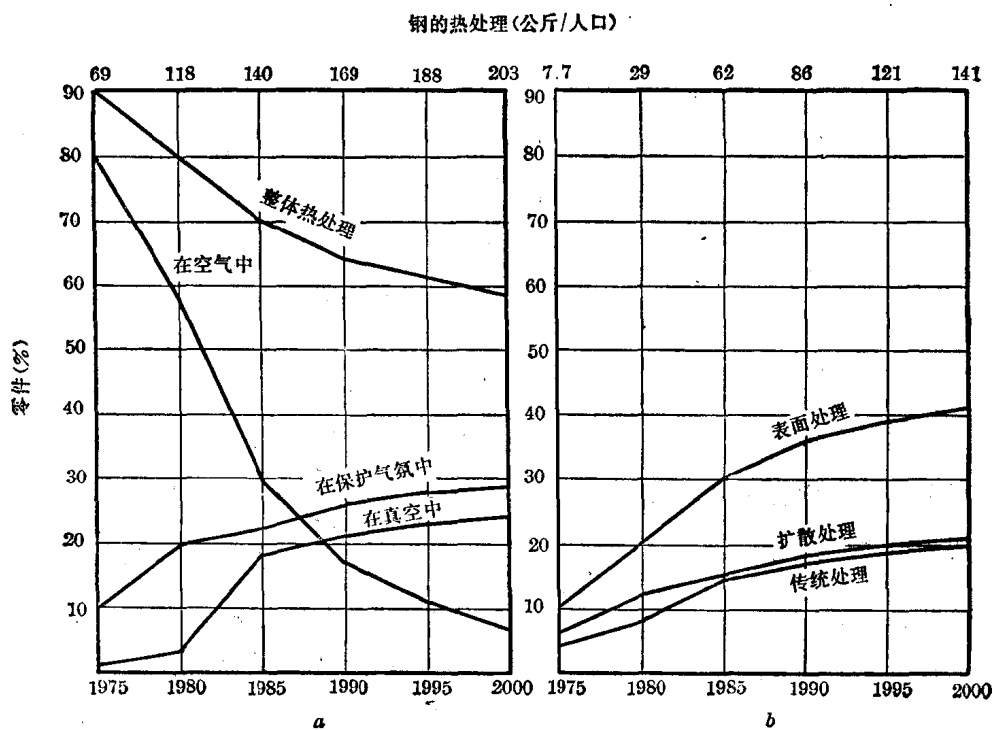


图 3

金属及其合金的总产量之比将按 1.5 比例下降。在同期内随着保护气氛中热处理零件 (按比例 3), 特别是真空热处理零件 (按比例 20!) 的增加, 在空气中加热热处理的零件将 (按比例 11) 急剧下降。在 1975~2000 年期间随着有关扩散处理和其他方法的采用, 表面热处理零件将按比例 4 增加^[2, 4, 5]。

3. 热处理加热设备的进展

各种热处理零件数量的快速增长, 热处理和其他加工工艺的密切关系以及热处理构成的变化, 其直接结果是加热设备以及有关器材的生产在数量上质量上的很大提高和

发展。

虽然在某种情况下用燃料加热设备比用电加热设备便宜,但可预见电加热设备数量将会增加,而燃料加热设备会减少。在1973~1975年虽然世界能源市场受到巨大冲击,使电能的消耗增长率暂时减少^[6],但热处理设备和设备使用功率仍稳定上升,相应的电能消耗也同样增长。虽然使用电能费用大,但人们还是认识到它的优点:可以保护环境;工作条件安全卫生;加热工艺稳定性好;操作较简单;温度调节较容易等,尤其是在某些热处理工艺中,如真空热处理,盐浴热处理,部分控制气氛热处理,只能在电加热情况下进行。原子能发电的扩大和新能源的采用^[6],只会强化采用电加热的趋势。

在热处理生产中,目前采用的主要加热炉和设备都处于向自动化方向发展。普遍都在研究机械工业中所采用的那种自动装置来代替重复性的工作和体力劳动。

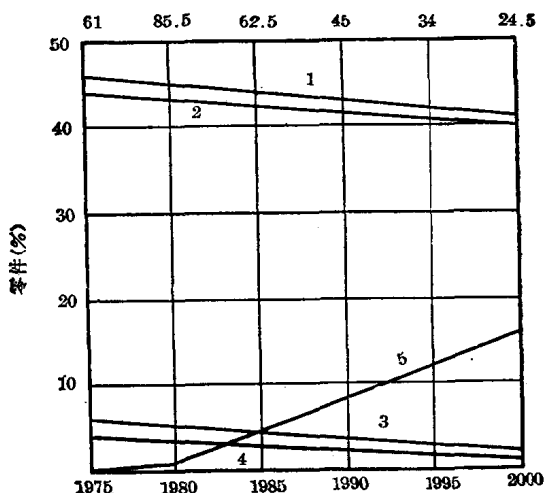
近几年由于能源费用的增加,采用可控硅和程序控制装置对温度自动调节有了很大进展。

目前在热处理生产中从事于采用全自动化传送(传送装置和流水线)。并达到实现热处理车间全自动化水平。在这种情况下自动装置不仅对装炉,而且还对工艺过程特性(可控气氛热处理、真空热处理)实现自动管理。但这种多重参数自动化指令只能采用数字计算机时才能进行。热处理全自动化的示范车间必将在今后几年投入生产。

4. 空气中加热热处理的进展

预计空气中加热热处理今后将日益失去其重要性(参照图3a)。目前在空气中热处理主要是回火(一次回火或几次回火)和淬火;

在空气中钢的整体热处理 (公斤/人口)



年份
图 4

退火工序,特别是细化晶粒退火(正火)将减少10倍(图4)。

在空气中热处理生产产品的总量中以上所述四种工序将减少,相反,形变热处理将有很大增加。还可预见用硝酸盐盐浴热处理的减少和用流动粒子炉进行加热和冷却的工序快速增加。空气中加热热处理采用电炉和碳氢燃料加热炉,而盐浴热处理加热只能用电炉。关于电阻炉的结构,人们注意到元件的标准化易于装配而开始使组合件(部件和组件)规格化,并着手对各种类型设备安装传送装置。

井式电阻炉将被箱式和隧道式连续炉所代替。电阻炉和电弧炉,盐浴炉,特别是那些用于处理工具钢的炉子已被建议用可控气氛连续炉和真空炉来代替^[7]。

电阻炉的缺点是加热速度较慢,使得入炉零件加热表面功率密度小,约10瓦/厘米²。

采用盐浴炉和流动粒子炉,可使入炉零件获得较高的加热功率密度。在流动粒子炉加热的情况下,同样可在炉内形成对零件的保护气氛或活性气氛,零件表面的功率密度约为200瓦/厘米²。

5. 保护气氛热处理的进展

在热处理生产中采用保护气氛可以制造表面光亮和洁净的高质量机械零件,从而消除了过大的加工余量。

保护气氛主要用于调质、退火、淬火、回火、正火和粉末冶金零件烧结。

由于保护气氛热处理的应用发展很快(参照图3a),可以预见,目前在一些国家广泛采用的结构钢调质热处理(affinage thermique)和正火将减少,而让位于进行钢零件和有色金属零件塑性变形成形后的退火、粉末冶金零件烧结和钎焊。人们还预见到在保护气氛下高速钢淬火工艺将获得快速发展(图5)。

在保护气氛中材料整体热处理(公斤/人口)

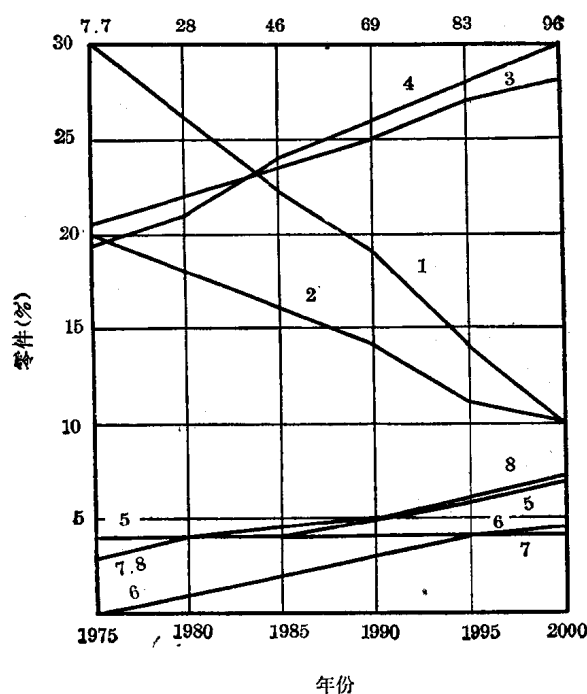


图 5

当前,保护气氛和扩散处理的产生和利用已成为热处理新技术发展的开端。特别明显的进展是这些年已证明可获得高温($1000\sim 1300^{\circ}\text{C}$)^[5]可控气氛,在这温度下可

进行高速钢工具的热处理,在控制气氛中处理工具的费用比盐浴处理低30~50%^[4]。

随着用于热处理的保护气氛发生装置和工艺的进展,近几年工序更为简化,在减少使用获得气氛所需的昂贵的燃料气以及采用有机液体的分解也有进展。

用作保护气氛中的加热元件已随着在空气中进行热处理所用设备的发展而变化。因为保护气氛炉要保证设备的密封性,要安装气幕和防火帘以及和供气装置连通的防爆装置,显然炉子的结构也就更为复杂了。加热元件,耐火的炉墙和特殊的金属夹具应具有耐气氛破坏的性能。大尺寸的炉子一般制成联动的,在保护气氛下,一般可同时进行几种工序的处理。

6. 真空热处理的进展

真空热处理将迅速发展(图3a),但可以预见在1975~2000年期间下列真空处理的百分比要急剧下降,如工具淬火,耐酸钢和高熔点钢的固溶处理,合金钢的退火。相反,真空下脱气,烧结和钎焊等将相应增加(图6)。

未来是属于真空化学热处理,因为某些扩散热处理,例如在真空条件下渗碳和渗铬就比在控制气氛条件下更快。然而真空热处理在加速零件冷却时还是要采用保护气氛。某些真空热处理工序需要用单一加热室混合型炉子结构,真空室内在工艺的第二阶段接着要引入一种保护性或工艺性气氛。在多室型炉子里,有一个真空加热室,还有一个或几个在工艺气氛条件下的工作室。

从最近几年开始使用真空炉的实际情况看,在高压下的零件快速淬火对真空炉的推广使用起了一定的作用。特别是在目前已达到和在盐浴中进行高速钢淬火相同的质量。

在Ta、Ti、Cr、Mo等耐热金属热处理时,

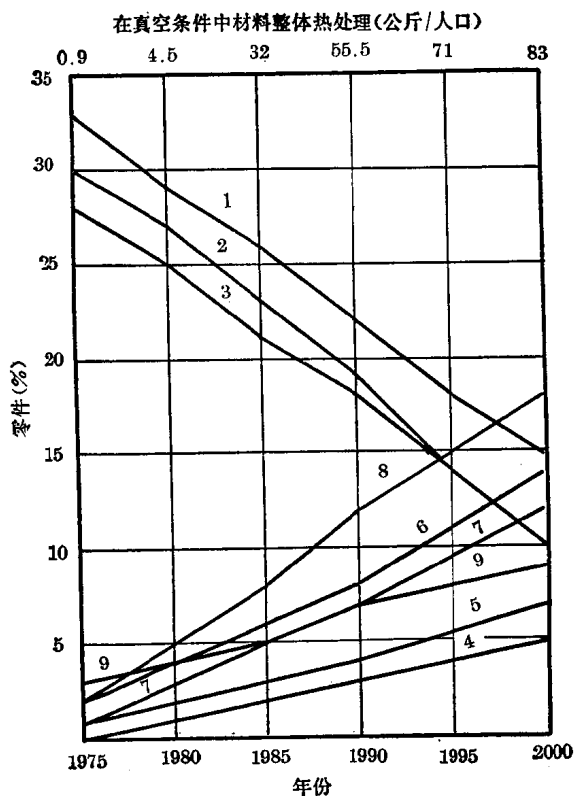


图 6

采用了高温真空炉(2000~3000°C), 真空度达 $13(10^{-5} \sim 10^{-7})$ 巴。多室型连续炉采用气体(几种气氛)循环冷却或浴冷越来越显示出是一种好办法。

随着自动化越来越受到鼓励, 真空炉向着提高工作温度和真空度以及提高连续工作单位时间的效率的方向发展, 对于大量生产采用气体强迫循环冷却零件是特别有效的。

7. 扩散热处理的进展

扩散热处理是一种可以使产品得到更高寿命指标的方法。用此法可得到一种或几种化合物的渗层。和采用低合金钢很经济一样, 扩散热处理在于用不同的金属或非金属元素使零件表面饱和而得到良好的性能(图2)。

在固体或盐浴中化学热处理, 其最基本的方法是用扩散法获得渗层。用这种方法事实上对扩散过程控制的可能性是很小的。仅

仅在采用气相扩散工艺时, 这种控制才是可能的。目前, 为获得确定的扩散层, 可对某些化学热处理编制程序, 热处理的进行由数字计算机管理^[4]。

随着化学热处理构成的发展, 随着在零件表面采用固溶处理新工艺(固溶其他元素并形成化合物)的发展, 经扩散处理的零件在数量上和质量上都将同时有发展(图7)。这样可以预见在1975~2000年期间工业化国家在扩散热处理的总数中, 渗碳件将按比率8下降。一直到1980年左右, 渗碳件数量的快速下降将用碳氮共渗件以约2%的增长来补偿。而碳氮共渗1980年以后又将逐步减少, 直到2000年又将恢复到1975年的水平。预计渗碳和碳氮共渗都将逐步为其它新工艺所取代。这些新工艺首先是可控氮化、真空

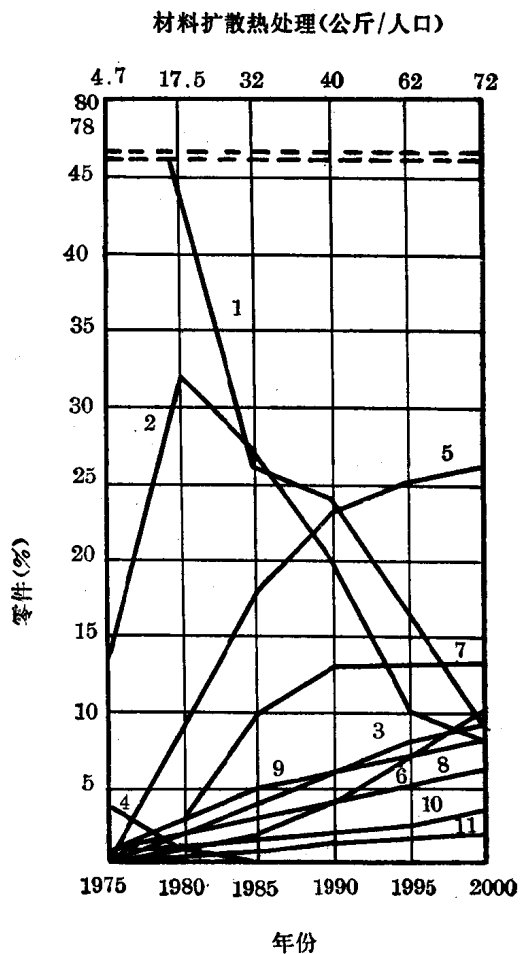


图 7

扩散处理、等离子处理、渗铬、钛固溶处理、渗硼、铌固溶处理、用浸入法渗铝。

氧氮共渗处理用于高速钢工具制造中,可使工具平均寿命提高70%,在某些情况下可提高200~250%^[5],因而对这种工艺的应用寄予很大希望。在高速钢工具表面硬化的领域里,在小工具车间小批量生产的情况下,在流动粒子炉中采用扩散气氛处理比通常的氧氮处理更方便,更经济,所以也寄予很大希望^[5]。

目前,氮化及其派生工艺获得了重视和发展。除了长时间氮化法之外,有许多快速氮化及其派生的氮化方法已在一些国家广泛采用。

对机器零件表面处理的氮化和其他扩散工艺的应用因采用离子扩散或等离子扩散方法而得到扩大。这种处理与采用辉光放电加热零件密切相关。

辉光放电加热工艺会加速在真空条件下离子化气体中进行化学热处理的进程。例如,在分解的氨或氮中离子氮化的时间很短,和通常气相氮化比较,比率为2.8。在金属(碳钢、合金钢、铸铁、耐热合金)中,由于受加速离子的轰击,导致渗碳、碳氮共渗、渗硫、硫氮共渗、渗硼等工序的加速进行。离子扩散处理的优点是节约气体并能控制工艺。但其缺点是处理工艺的周期性和设备价格高。

无须说明这种工艺特性的完善和工艺的扩散过程。今后的工作是要解决在已设计使用的辉光放电炉中处理零件的冷却问题。目前用的有几十千瓦的井式炉,辉光放电电压为几百伏到1000伏以上。

扩散渗铬是一种延长机器和工具寿命的有效方法。虽然如同扩散渗钛一样采用气体渗铬更适当,但许多国家仍采用盐浴渗铬法。在零件表面渗一薄层铬或钛的碳化物可用作制造不再需要磨削的零件(如用于塑性变形成形工具)。从零件基体上获得碳化物的简单渗层开始,又发现了用扩散方法获得复合

渗层的新工艺,如用气体法得到铬-铝,铬-硅,铬-钛,铬-钛-钒渗层。

当前的工作是在获得硼-铝、钒、铌扩散渗层后,要继续发展获得其他元素的扩散渗层。以往最常用的是用固体粉末、涂覆膏糊、盐浴(浸入法和电解法)以及在气相中进行扩散渗硼^[5]。

预见到接近1990年时,用喷镀方法解决耐腐蚀渗层,首先是铬,铬-硅,铬-铝渗层将在工业上应用^[5]。

盐浴扩散处理采用不同类型的用电加热或煤气加热坩埚炉,盐浴表面常通以保护气氛。气体扩散处理时,和在保护气氛下进行整体热处理一样,采用箱式炉、井式炉和连续炉。

没有调节装置的渗碳炉、碳氮共渗炉和氮化炉用来进行这些工艺时,必须加装调节装置。在不久的将来,人们期望生产出用于渗铬、渗钛和着手用气相法获得渗钒、渗铌层的工业用炉。直到今天,我们所采用的炉子只是具有使之适应于或具有试验性结构的形式。

除了要有采用金属扩散方法得到简单渗层的专用炉之外,预料会出现获得如碳化物这样的化合物渗层的通用加热炉。

8. 传统热处理的进展

在此我们重新考察一下感应加热和火焰加热热处理工艺以及未来的电子束加热和激光加热两种方法。随着对产品使用性能要求的提高,电子束加热和激光加热在加热和冷却过程配合使用可达到改进零件表面的目的。

金属零件感应加热用于以下工序:淬火、钎焊、退火(如焊接件)或其他热处理,这是大家很熟悉的,而且一直在应用。最常用的处理方法是进行表面淬火,特别是采用高频电流表面淬火。

从感应加热的发展趋势来看,随着感应加热构成的改变,即用高频电流加热金属和合金将减少(比率1.5),而用中频电流加热将增加(比率2.5)(图8),加热装置的数量(设备功率)将有很大增长。1955年*曾对这两种类型加热装置进行了比较,认为在普通工业化国家里高频加热装置的数量可能由比率4变化到2000年时比率为1。

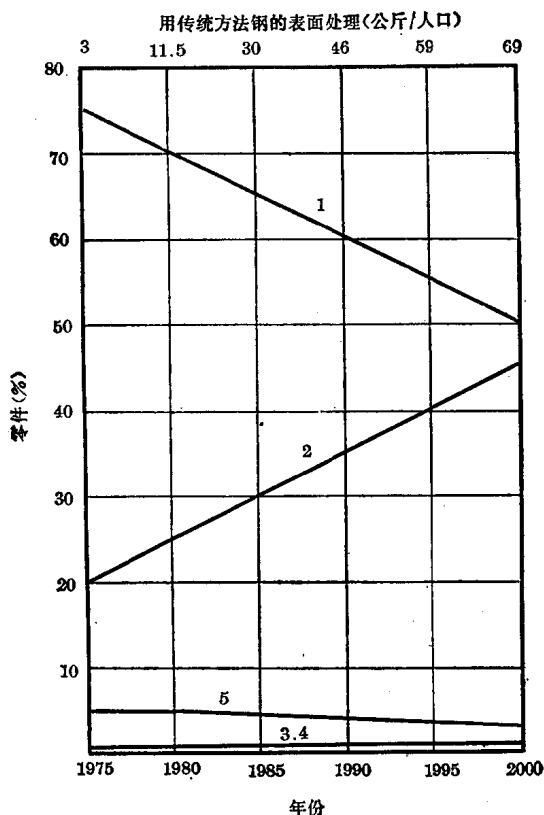


图 8

人们没有注意和预见到感应处理应用范围的明显变化。但在经热处理的机器零件目录上将规定要增加感应加热深度。感应加热装置将为可调节功率两段加热,零件采用感应加热直接淬火与回火相结合,高速钢淬火,零件的局部加热以及在控制气氛或真空中感应加热的应用将扩大。

在感应加热装置的结构方面,人们倾向于要使工作频率范围的扩大(使用分离变频器沿负荷或发射器移动);增加加热装置的功率由几千瓦到几千千瓦;发生器和电源作成

元件安装在通用的或专用的加热装置上。人们还注意到铁心式感应器和封闭循环水冷却将得到更普遍的运用。新型可控硅换流器以及可控硅保护电路也已采用。对无线电干扰正常值的影响要求更严格。

对于火焰加热没有预见到有什么明显的进展。与电加热比较,火焰加热很不经济(热量损失大),另外火焰加热因为加热时间长,加热零件的氧化率比感应加热高3~4倍(燃烧损失约3~4%)。预计今后用火焰加热钢的比率将由1975年的5%下降到2000年的3%左右(参照图8)。

在表面热处理领域里,电子束加热,特别是用于淬火(参照图8)看来有良好的发展前景。它已成功地用于250毫米厚板材的熔割和焊接。电子束加热可以使零件得到功率很高的集中,约 $10^6 \sim 10^8$ 瓦/厘米²。但是在目前因设备费用高,限制了在更大范围内使用电子束加热炉的可能性。而且阴极电子束的控制也有困难。目前工业化国家里制造的电子束炉有箱式炉和连续炉,用于淬火、金属表面洁净和脱气、金属带料的钎焊、金属表面涂覆、超薄层淬火(1/10毫米)。为此,要运用几百到1000千瓦以上的电子枪,零件表面的功率密度为100瓦/厘米²。电子束炉的优点是生产效率高,工艺稳定性好,加热时间很短(约几微秒),容易使工艺过程自动化,处理后零件公差约几微米。在热处理时,因金属表面同时承受瞬时熔化,可增加处理零件表面的光泽^[2]。

激光加热装置可对零件提供更大的功率密度,理论上可达 10^{11} 瓦/厘米²。在最终热处理时,零件的表面负荷为几十千瓦。激光加热可对很难或者不可能用感应加热的小而复杂的零件进行淬火和表面合金化,而且不再需要冷却介质,可由流动的空气或保护气氛自然冷却(由于淬火的金属传导性良好)。采用激光加热可获得晶粒很细而不是薄膜状

* 原文为1955年,可能为1975年——译者

的淬火层(0.1 毫米)并且表面很硬。更值得注意的是在未来运用约几千瓦输出功率的气体激光进行热处理。当要求更高功率热处理时,就要采用电子束炉^[5]。估计用激光和电子束热处理的金属零件数有相同的数量级(参照图 8)。

预计到 2000 年,经过热处理的金属和合金总重量的 0.5% 到 5% 是在电子束加热、激光加热和电容放电脉冲加热装置上进行(最近,已在某些国家用于淬火和焊接)。

参 考 文 献

- [1] Szpunar E.: Wazniejsze problemy rozwoju technologii obróbkcieplnej w przemyśle maszynowym/ Problèmes du développement des techniques de traitement thermique dans la construction mécanique/."Metaloznawstwo i Obróbka Ciepła". No 20, 1976, /en polonais/.
- [2] Szpunar E., Burakowski T.: Perspektywy rozwoju elektriceskich nagrevatelnych ustanovok dla termooobrabotki metallov v pererabativajuscej promyslennosti/perspectives du développement des postes de chauffage électriques dans le traitement thermique des métaux, dans les industries de transformation/. Doklad Nr 4 B. 74 Vceimirnyj Elektrotechniceskij Kongress. 21~25. 06. 1977 Moscou/en russe/.
- [3] International centre for industrial studies: Draft

world-wide study % the iron and steel industry. 1975~2000 UNIDO/ICIS. 25. 15 December 1976.

- [4] Szpunar E.: Rola procesów obróbki cieplnej w optymalnym wykorzystaniu fizycznych i chemicznych wlasnosci metali i stopów/ Le Rôle des propriétés physiques et chimiques des métaux et alliages/. Sympozjum "Efektywne wykorzystanie materiałów w Konstrukcji i technologii". PRGM-MPM-Not. varsovie. novembre 1973/en polonais/.
- [5] Szpunar E., Burakowski T.: tendecji razvitiya technologii termooobrabotki/Tendances du développement de la technologie du traitement thermique/. Doklad na Naucno-Techniceskim Simpoziume "MITOM 77", Zaporozze, 27~29, septembre 1977/en russe/.
- [6] Burakowski T., Hering M., Kabata j., Skrzypek T.: Tendencje rozwojowe elektrotermie/tendances du développement de l'électrothermie/. "Przegląd Elektrotechniczny", No. 4, 1977,/en polonais/.
- [7] Burakowski T.: Tendencje rozwojowe elektrotermicznych urzeczywiznien grzejnych dla procesów obróbki cieplnej i plastycznej metali w świetle obrad VIII Miedzynarodowego Kongresu Elektrotermii/Tendances de l'évolution des dispositifs de chauffage pour les procédés de traitement thermique et le façonnage par déformation plastique des métaux, à la lumière des débats du 8-e Congrès international d'Electro-thermique/. "Metaloznawstwo i obróbka ciepła". No. 27, 1977,/en polonais/.

(原文为法文 刘以宽译 沈百全校)

(上接第 22 页)

LHOT, Entropie, 1977, n° 72~73, 34.

- [11] F. K. NAUMANN, G. LANGENSCHIED, Arch. Eisenhüttenw., 1965, 36, 677.
- [12] M. CONFENTE, H. MICHEL, M. GANTOIS, XV^e Colloque International de l' A. I. T. T., Caen, France, Mai 1974.
- [13] R. LEVEQUE, H. MICHEL, M. GANTOIS, 2ème Colloque International sur les aciers à outils

pour travail à chaud Saint-Etienne, France, Décembre 1977.

- [14] D. GERARDIN, H. MICHEL, M. GANTOIS, Scripta Met., 1977, vol. 11, 557~561.
- [15] K. H. JACK, Acta Cryst., 1950, 3, 392.
- [16] D. GERARDIN, Thèse, Nancy, Février 1978.

(原文为法文 谷德清译
孙洪斌、吴世禄校)

氮化工艺的进展

[西德] J. Wünnig

1. 长时氮化与短时氮化

在钢的长时氮化 ($\sim 500^{\circ}\text{C}$, >10 小时) 中, 表层硬度的提高不是通过奥氏体化和淬火, 而是凭借适宜的合金元素 (例如铬、钒、铝等) 所形成的弥散分布的氮化物。与渗碳相比, 长时氮化几乎不产生变形; 但是如果要获得同样硬化层深度的话, 则处理时间就要延长一个数量级。

在短时氮化 ($\sim 570^{\circ}\text{C}$, <10 小时) 中, 表面上能获得一个厚度为 $10\sim 20$ 微米的连续的氮化物层, 这种渗层具有良好的耐磨性和耐蚀性。由于氮向内部扩散, 所以可以提高疲劳强度。但是由于所获得的硬化层很浅, 所以这种工艺不能用来代替渗碳。

近几年已经发展了各种短时气体氮化的方法, 这些方法提供了可与早已熟知的盐浴法相比的结果。但在操作技术上却有些差别, 例如在氮化气氛的均匀性、氮的单位消耗量, 特别是炉口换气的安全问题等方面。这些问题在当时就已经解决。关于按 Nitroco 法作业的、生产率为 1500 公斤/小时的自动化连续式推料装置的操作结果已经作过报道。

下面所讨论的是这种新工艺是否在长时氮化时也能应用的问题, 其目的是希望在某些一定场合, 这种新工艺也可用来作为一种经济的、代替渗碳的工艺。

2. 硬度分布、氮化时间与氮化温度

碳素钢, 即使经受很长时间的氮化, 其在

扩散层中的硬度也不会显著增加。但是只要加入百分之一的铬, 或千分之几的钒或铝, 就可以显著增加硬度。如果假设当表面全部被氮化物 (化合物层) 所覆盖 (在短时氮化中, 30 分钟就可以达到) 之后, 朝向材料的扩散将由氮化物层来提供, 而与外界不再有直接关系; 那末就可以按照扩散定律来计算这个过程。遗憾的是, 事情并非如此简单, 这是因为氮化物形成元素会显著降低氮在 α -铁中的溶解度。除此之外, 认为气氛对硬度增加事实上没有影响的观点看来是不确实的。因此用某些低合金调质钢进行了一些试验。

图 1 所示为 560°C 氮化时的氮化时间对硬度分布的影响。由图可知, 铬钢 ($\sim 1.0\%\text{Cr}$) 在氮化 18 小时之后在 $0.2\sim 0.3$ 毫米深度处显示有 $\text{HV}500$ 的硬度。由图 1 还可清楚地看出, 添加少量的钒就能起到提高硬度的作用。所有试样在氮化前均经调质处理。

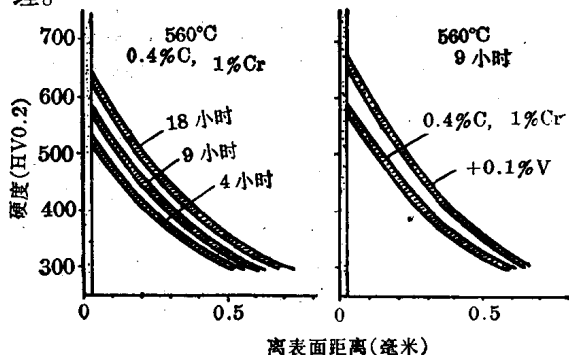


图 1 氮化时的时间和材料对硬度分布的影响

氮化温度和氮化时间对扩散深度所起的作用是众所周知的, 但它们也促使所形成的氮化物聚集, 并伴随有表层硬度的降低。从图 2 可以看出, 对于所研究的钢和在 0.25 毫

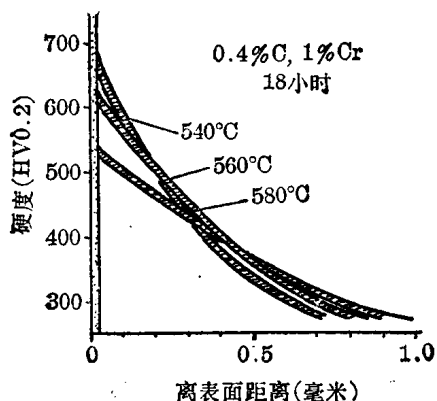


图2 温度对氮化后硬度分布的影响

米深度处 HV500 的界限值来说, 在 560°C 氮化时, 时间最短。

短时氮化的特点之一是高的氮势, 其目的是尽快地以氮化物覆盖。然而在以后的进程中必须重新考虑到氮化作用, 以免在表面上形成疏松的渗层。这种疏松的渗层在盐浴氮化中(当时间过长时)尤易产生。在过程进行期间, 气氛可能发生变化。图3所指为在氨-放热型气氛中经 560°C 氮化 18 小时的试样的表面层。致密化合物层的厚度约为 25 微米。



图3 0.4%C-1.0%Cr 钢氮化(Nitro)后的表面层; 560°C, 18小时

3. 设备与工艺

在周期式炉子(井式炉和箱式炉)中的长时氮化大家早已认识。两段氮化法, 即弗洛埃(Fløe)法也是如此。然而作为与渗碳在经

济上可以相比的解决办法, 也提出了具有较高生产率的自动化的连续式推料装置的问题, 并且已有效地用于短时氮化。

图4所示是用于20小时氮化的一个装置的简图。炉膛中的料盘精确得象在气体渗碳炉中一样地自动而有节奏地通过整个装置。

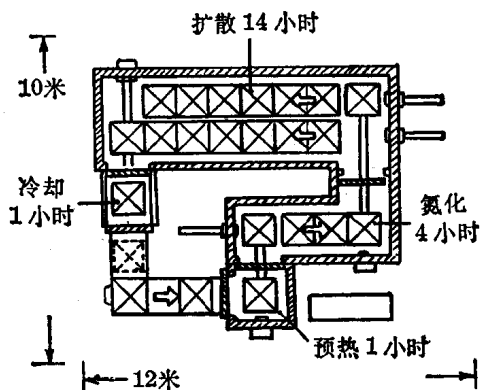


图4 用于氮化的连续式推料装置

炉膛装料量: 11 吨;
处理时间: 18 小时;
生产率: 1 吨/小时

在预热区零件预热到约 400°C, 同时通过氧化使零件表面活化。预热可缩短在氮化炉中的加热时间, 因而减少氨的分解。

为使氮势可以分段控制, 氮化炉本身分成两个室。这也表明这种工艺是与气体渗碳工艺并列发展的。加热的均匀性, 炉内循环以及陶瓷炉衬对氮化过程也为至关重要。

含有能使表面层硬度增加的氮化物的合金元素的钢材, 一般就不再进行淬火。零件于出炉口在保护气氛中进行冷却, 不必再予清洗。

Nitrooc 法的特点是在于炉门口的换气技术。为此使用一种例如用以加热预热炉的、按化学计量所燃烧的气体中所回收的 N_2 - CO_2 混合气(放热型气氛)。通过这一办法, 在炉门口就不会有与空气混合而成的可爆性气体, 并可形成氮化气氛。在炉膛中也可采用与氨气成一定比例的混合气, 借此提高氮化作用, 并初步制备用于 ϵ -层增碳的碳。

各炉区中的氮势和碳势可以调节所引入

的氮量以及混合气氛中氮与放热型气氛之间的比例来控制。炉气中的含氢量亦应予以控制。

4. 经济 性

材料选择和生产流程受渗碳或氮化的影响。但只有当氮化的主要优点(即: 变形小)发挥作用时, 成本比较才具有意义。在这种情况下, 必须把整个流程都计算在内。

成本主要是通过热处理持续时间来确定的这样一种广泛流传的理解并不是在所有情况下都是合理的。新设备至少已考虑到这一点, 即: 由于炉内加热时间较长, 因而要求炉子容积也较大。为此, 额外费用应保持在一定限度内, 因为加热、调节、机械以及控制等部分的费用几乎是不能变的。

在要求硬化层深度为 0.2~0.3 毫米的情况下, 包括加热时间在内, 在渗碳时约需 2 小时, 而在氮化时则大约需要 20 小时。由于氮化后不淬火, 所以装炉量可以大得多, 料也可装得密一些。渗碳炉与氮化炉容积之比大于 1:10*。

最简单的氮化设备是带有强力循环、装炉量可达几吨的无马弗井式炉或箱式炉。处理后送到具有冷却管的炉子中使其冷到约

300°C, 同时进行清洗。整个过程都是自动控制的。尽管装炉量要多几倍, 但是在生产率相同的情况下, 这种设备的生产成本仍比多用途箱式渗碳炉要低。特别是氮化时的工资费用较小, 因为每天只需装料和卸料一次。

生产率更大的(>1 吨/小时)的连续式推料装置(见图 4)是最为经济的。

5. 结 论

用于短时氮化而发展起来的、由氮和放热型气氛所组成的混合气氛以及随之而配备的工艺技术装置也可用于长时氮化。通过相应的氮势的分段控制来避免不容许有的厚而疏松的化合物层的形成。

由含有加入少量氮化物形成元素(铬、铝、钒)的材料所制成的零件, 在 560°C 下氮化 20 小时以后, 在没有淬火, 亦即在几乎不产生变形的情况下, 可以获得在 0.2~0.3 毫米处硬度为 HV500 的硬表面层。

尽管处理时间比渗碳约长 10 倍, 但是生产成本却不相上下, 所以对于易于变形的零件, 这种氮化方法可以考虑用来代替渗碳。

(原文为德文 戚九皋译 何葆祥校)

* 原文为小于 1:10, 恐系笔误——译者

(上接第 30 页)

些试验钢中, 只有 42CrMo4 钢能通过 580°C 持续 24 小时氨气氮化来成功地制取一个具有抗大气腐蚀能力的表层。

参 考 文 献

- [1] Müller J. Schmalbein O.: Das Industrieblatt, 56, 1956, April, S. 163~169.
- [2] Kettmann A. Stuhlmann W.: Härterei-Technische-Mitteilungen, 16, 1961, Nr. 2, S. 112~114.
- [3] Minkjevich A. Sorokin J.: Traitement Thermique,

1972, S. 45~54.

- [4] Weissgerber H.: Der Maschinenbau, 1961, Nr. 12, S. 509~511.
- [5] Müller J.: Der Maschinenbau, 1961, Nr. 12, S. 502~506.
- [6] Weissgerber H. Hofmann D.: Fertigungstechnik und Betrieb 15, 1965, Nr. 1, S. 53~55.
- [7] Dékány L. Konkoly T. Varga S.: Gépgyártástechnológia 9, 1969, Nr. 6, S. 273~274.

(原文为德文 何葆祥译 史美堂校)

钢离子氮化时化合物层的形成条件和性能

[法国] G. Hlsler 等

前言

目前, 由于对材料的要求越来越严格, 利用廉价材料进行各种表面处理的研究有了很大发展。近年来在这些表面处理中, 离子轰击化学热处理开始发展。它在工业应用和研究上的收益充分证明了这点。

在氮化或者由氮化派生出来的处理领域内, 离子轰击技术具有很多优点, 它能够获得各种渗层, 一般来说, 它所获得的渗层性能比其它方法来得优越, 同时也是解决磨损、摩擦和疲劳强度问题的卓有成效的方法。

这种处理工艺, 目前看来是非常可靠的, 在经济上也是很有价值的。

本文的目的是更好地了解化合物层的形成条件和所形成的化合物层的相变过程, 特别是单相碳氮化合物 γ' , ϵ 或者由它们派生出来的化合物, 其中有硫与碳、氮相化合的渗层。了解所出现的各种相的转变和它们塑性变形方式对于拟订渗层的选择标准是必不可少的, 并且有可能使表面应力能获得满意的解决。

一、 γ'/α 结构

在气体氮化的应用中, $\gamma'(\text{Fe}_4\text{N})$ 层的生长是相当难控制的。实际上, 氮化看来是从氨基气氛中开始的, 它的晶核化 (germination) 需要一个孕育期, 对于处理时间较短的, 孕育偶而能得以成功^[1]。

相反, 在辉光放电条件下, 氮化处理是在氮气、氢气组成的混合气体中进行, 混合气体中的氮分压可以根据钢的种类变化于 100~250 帕(Pa)之间, 能够获得 γ' 层(图 1)。



图 1 35CD4 钢, 540°C 处理 8 小时, γ'/α 结构

γ' 层中氮的浓度梯度能够在铁基中增大, 但是这个梯度是很小的, 并且在处理过程中很快就消失(图 2)。

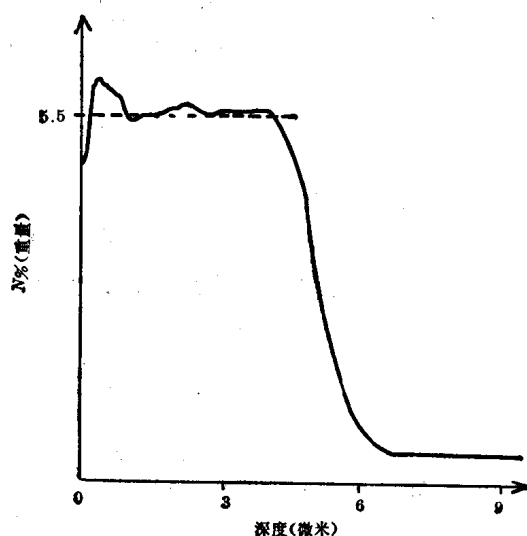


图 2 纯铁上 γ' 层氮浓度分布曲线。
辉光阴极的光谱分析^[2]

γ' 单相层很快达到极限厚度, 这个厚度与扩散温度和合金元素有关, 如图 3 所示。实际上, 这个层的厚度很少超过 10 微米。它可以用来保护零件基体, 处理后也无须再进行机械加工。

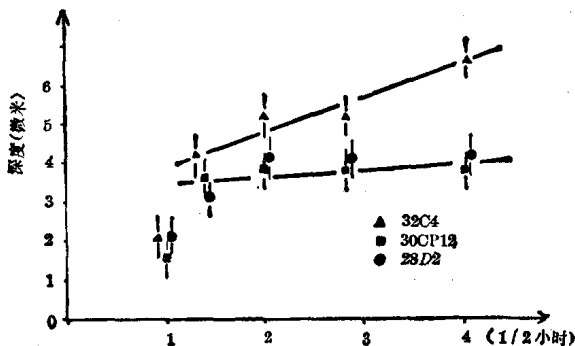


图 3 不同合金钢在 570°C 时 γ' 层的成长动力学

γ' 层是很致密的, 它是由等轴晶粒所组成, 用电子显微镜经常可以明显地看到其中

的双晶、位错和位错迭积 (fautes d'empilement) (图 4)。

例如在面心立方结构中, 位错迭积的面属 $[111]$ 类型的面。

用电子微量衍射法, 我们可以看到 γ' - α 分界面好象结晶化了似的^[3]。实际上, 在我们所获得的大多数图表上, 这两个相的面和最大原子密度的排列几乎是相吻合的。

最常见的位向关系有下列型式:

$$\begin{cases} (111)_{\gamma'} \text{ 与 } (101)_{\alpha} \\ [1\bar{1}0]_{\gamma'} \text{ 与 } [111]_{\alpha} \end{cases} \text{ 差 } 5^\circ \quad (1)$$

或

$$\begin{cases} (100)_{\gamma'} \text{ 与 } (110)_{\alpha} \\ [010]_{\gamma'} \text{ 与 } [001]_{\alpha} \end{cases} \text{ 差 } \pm 5^\circ \quad (2)$$

不少作者^[4,5]对关系 (2) 已经作过介绍, 当氮化纯铁试样缓慢冷却, 或者经过回火以后, 在铁素体扩散层中析出的 γ' 氮化物, 位向关系 (2) 也被他们观察到过。



图 4

a) γ' - Fe_4N 氮化物的双晶晶粒 b) 与电子微量衍射相片是一致的, 对称与 (111) 面的两个 $(1\bar{1}0)$ 面

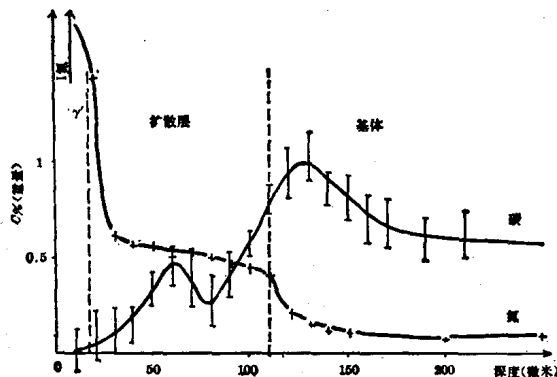


图 5 扩散区域中的碳、氮浓度分布曲线。Z38CDV05 钢, 540°C 氮化 16 小时, γ'/α 结构, 20~30 微米处脱碳-渗层深处增碳

在这种处理方式中,氮化速度是通过饱和和铁素体与外层 γ' 之间的局部平衡来控制的。 γ' 层除了它本身的机械性能之外,还能够保证深氮化的顺利进行,同时它具有一个良好的抗腐蚀层。

在铬钢氮化处理的情况下,有了这个渗层,金属和气氛之间的平衡条件可以限制层下面的碳氮化合物的网状组织形成,但是反过来,却使最靠近表面的几个微米区域产生脱碳和在氮扩散前产生增碳(图5)。

二、 ϵ/α 结构

1965年,彼尔路易(Prenosil)^[6]指出, ϵ 氮化物六方结构中出现碳时会得到薄的单相组织,零件的耐磨性能和摩擦强度就可以得到提高。

从那以后,为了获得较好的摩擦性能,大多数碳氮共渗是在盐浴中进行^[7]或者采用气体碳氮共渗^[8,9],以控制这个渗层的成分和厚度作为产品方向。

近来,由于在盐浴处理中的加硫成功,使人们得到一种非常有利于摩擦性能的铁硫化化合物的表面层^[10],当然在目前显示出有兴趣于富氧表面层,但它牵涉到盐浴的作用或者吸热式气氛使用的方针。

在这个领域内,用离子轰击方法也显示出同样效果,其中,就结构而言,化合物层和

目前其它方法所得到的相同。

1. 由 Fe-C-N 系产生出来的 ϵ 化合物层^[11]

在碳氮共渗处理中,氮化和渗碳反应是同时出现的,它们各自与气氛中的“碳势”和“氮势”有关。

在辉光放电下的气相碳氮共渗处理中,分子氮可以直接利用,因为在放电过程中,氮的离解和激活是很容易实现的。同样道理,它能够用甲烷来引进碳。

氢的存在可以使这两个反应趋于平衡。

在所使用的方法中,各种参数(温度、气体的总压和分压)的选择是互不相关的。原则上,只要气体的总流量足够,以避免缺少反应物。这种反应物,应该满足处理零件的表面浓度和所形成渗层的性质。

一般, ϵ/α 结构是在处理温度 570°C 时,反应器中氮分压保持在270帕左右下得到的;纯铁在甲烷的分压为3帕时处理1小时30分钟,得到100% ϵ 层(图6)。

考范特(Confente)^[12]指出,由于处理钢中碳的存在,上述结果将明显改变。实际上,合金渗碳体和其它碳化物都不及铁的碳氮化合物稳定,因为钢中的碳参加了反应,由于用富碳的钢来替换纯铁,使反应器内的甲烷分压降得很低,当辉光放电时间很长时,甲烷分压的作用就不可能明确的定得下来,因为 ϵ 层的增长与 γ' 层一样,是受时间的限

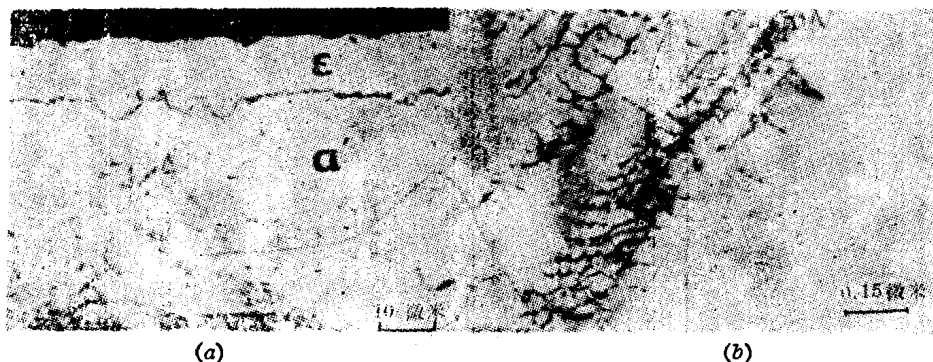


图 6

a) 纯铁试样在 570°C 处理1小时30分,然后在常用温度下淬火,得到的 ϵ 碳氮化合物层

b) 淬火后的 ϵ 碳氮化合物的显微结构