

第 5 篇 化学热处理及新型表面改性技术

- 主 编** 郦振声 (教授级高工 机械工业部武汉材料保护研究所)
郦定强 (副教授 上海交通大学材料科学与工程学院)
- 编写人** 郦振声 (教授级高工 机械工业部武汉材料保护研究所)
郦定强 (副教授 上海交通大学材料科学与工程学院)
徐 芸 (讲师 硕士 郑州粮食学院)
郦定毅 (工程师 机械工业部武汉材料保护研究所)
- 主 审** 孙大涌 (教授级高工 机械工业部机械科学研究所)
陶曾毅 (教授 华中理工大学)
- 责任编辑** 王兴垣 (高工 机械工业出版社)

第 1 章 概 论

化学热处理及新型表面改性技术，都属于表面改性技术的范畴，是先进制造技术中的一个重要组成部分，是制造高质量机械电子产品乃至国防尖端产品的重要基础工艺之一。随着机电工业和高技术的发展，对材料及其制品表面综合性能的要求越来越高，促使表面改性技术的迅速发展和在制造工业各个领域的广泛应用。

1 作用与任务

化学热处理是将金属或合金工件置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入它的表层，以改变其化学成分、组织和性能的工艺。

新型表面改性技术，是借助等离子体、激光、电子束、离子束等新技术手段，改变材料表层的物理状态和(或)化学成分，改善它的性能的方法。

金属材料及其制品的失效首发于表面或亚表面，诸如腐蚀、磨损、疲劳断裂、氧化、烧损、辐照损伤一般都从表面开始，所以表面强度的高低，性能的好坏，在许多情况下，对机械零件的性能和寿命具有决定的意义。采用表面改性技术是解决上述失效问题的一个极其重要途径，受到国内外普遍重视，尤其是在许多情况下，仅为获得表面高性能而提高整体性能，往往在技术上和经济上都是不可行的，而利用表面改性技术，即可获得表面高性能，提高产品质量，延长产品寿命，又可降低产品的加工制造成本，节约贵重材料和能源。

化学热处理及新型表面改性技术，不仅用于材料的防护与强化，提高耐腐蚀、耐磨损、抗氧化与抗疲劳性能，而且可根据需要赋予材料及制品具有光学、磁学、隔热、装饰等多种功能，也可为高新技术及产品的开发提供一系列新型材料与复合金属材料。如金刚石膜、类金刚石膜、超导薄膜、非晶态材料、超微粒子材料及多层膜等，已成为高技术发展的制备技术。

2 种类与目的

化学热处理及新型表面改性技术，种类繁多，涉及范围很广，根据其特点和形成方式分类见表 5.1-1。其主要目的见表 5.1-2。

3 发展趋势

表面改性技术在传统工程中作为耐磨、防护等方

表 5.1-1 化学热处理及新型表面改性技术种类及主要特点

种类	主要特点及用途
扩散合金化	在钢铁及合金表面渗入一种或多种元素，形成固溶体及化合物层，结合强度高，应用较广，不同渗层分别用于提高工件的耐蚀、抗高温氧化、减摩、耐磨等性能
化学热处理	热浸镀 在钢铁基体上浸镀、铸铝合金、铅、锡及铅锡合金，比电镀生产效率高、成本低、镀层厚，用于标准件、普通、钢丝、钢板及输电铁塔、矿井支架等构件的长效防腐蚀性
	镀渗复合处理 在材料表面镀一层金属或合金层，经加热扩散，在表层形成冶金结合的强化相，改善材料表面的硬度与耐磨、减摩性能，提高疲劳强度和耐蚀能力。用于蜗轮、油泵壳体、轴承、齿轮等
气相沉积	PVD、CVD、PCVD 沉积的多种化合物，结合强度高，均匀，表面光泽、美观，具有极高的熔点和硬度，优异的耐腐性、良好的耐蚀性、耐热性，用于装饰性涂层和提高刀具、模具、叶片等寿命，效果显著，还能制备磁性、光泽、润滑膜等
高能束表面改性	激光束、电子束、离子束 利用激光、电子束或离子束辐照材料表面及覆层，使表面强化或(和)形成相应成分的合金，提高表面抗蚀、耐磨及抗疲劳性能。射束能量高度集中，加热速度快，工件变形小，表面晶粒细，无污染，操作易调节和自动化，但设备投资和维修费用较大

表 5.1-2 各种表面改性技术的目的

方 法	目 的				
	耐腐抗损伤	抗高温氧化	耐腐性	抗疲劳	
化学热处理	渗碳、碳氮共渗	0			0
	渗氮	0	0	0	0
	氮碳共渗	0	0	0	0
	渗硼	0	0		
	硫氮共渗	0	0		0
	硫氮碳共渗	0	0		0
	渗硼	0	0	0	0
	渗钨	0	0	0	0
	渗铬	0	0	0	0
	渗钨	0	0	0	0
碳化物覆层	0	0	0	0	

(续)

方 法		目 的				
		耐磨	抗损伤	抗高温氧化	耐腐蚀	抗疲劳
气相沉积	PVD 沉积 TiN 等	0	0	0	0	0
	CVD 沉积 TiC 等	0	0	0	0	0
	PCVD 沉积类金刚石等	0	0	0	0	0
高能束表面改性	激光相变硬化	0	0			0
	激光表面合金化	0	0	0	0	
	激光冲击强化	0	0			0
	离子注入 N ⁻	0	0			0
	离子注入其他元素	0	0	0	0	0
	电子束相变硬化	0	0			0
电子束表面合金化	0	0	0	0		

面的应用已有很长的历史,近20多年来,高新技术与精密、尖端产品的发展对表面改性技术提出了更高层次的要求。同时随着等离子、激光及微电子技术的应用和现代分析手段的进步,推动了表面改性技术向更深更广的领域迅速发展。

(1) 发展新工艺新材料 传统工艺中引入新技术开发了新工艺,制备了新材料。双层辉光离子渗金属、高温离子渗碳、激光表面合金化及稀土在表面合金化

中应用,提高效率与质量,降低能耗明显。气相沉积制备高性能系列超硬化合物层和多种功能覆层,尤以金刚石、类金刚石薄膜制备较为突出,EB-PVD 电子束物理气相沉积工艺制备的热障涂层(TBC),使飞机发动机涡轮叶片温度降低,发动机功率可提高20%。无论钢或硬质合金零件,经高能束表面改性,使用寿命明显提高,预计今后10年内,该新工艺将会在生产中较普遍推广和应用。

(2) 发展复合表面技术 综合应用两种或多种表面改性技术的优点,获得最佳的表面性能,适应更广阔的需要。如多种元素复合渗,多层薄膜复合,电镀、电镀与渗扩复合、表面强化与面相润滑层复合、镀膜与离子注入复合以及梯度涂层复合等,已成为当今研究的热点与发展趋势。

(3) 人工智能在表面改性领域中应用发展迅速 在各种表面改性技术中运用计算机控制,实施生产过程自动化的技术已日益普遍。如EBA635/800型电子束带材镀膜设备800mm带铝,生产能力达10⁴m²/h,装有4把高功率电子枪,仅由一人控制和监测,能够连续运行一星期。可以预见,随着计算机性能提高,人工智能这一前沿学科将会在本世纪乃至下一世纪的表面改性领域中发生深刻的影响。

第2章 渗碳与碳氮共渗

1 钢的渗碳

为了增加钢件表层的碳含量和一定的碳浓度梯度,将钢件在渗碳介质中加热、保温,使碳原子渗入表层的工艺称为渗碳。按渗碳介质的物质状态,渗碳方法有气体渗碳、液体渗碳、固体渗碳,离子渗碳及真空渗碳等。几种渗碳方法的特点及应用范围如表5.2-1。

表5.2-1 常用渗碳方法的特点及应用范围

渗碳方法	特 点	应用范围
气体渗碳	生产率高,操作方便,容易实现机械化、自动化,渗碳质量易控制,稳定,渗碳后便于直接淬火	大批量生产,应用最广
液体渗碳	加热速度快,渗碳周期短,操作简单,可直接淬火,但多数渗碳盐浴有毒	小件,细长件,批量生产,应用少

(续)

渗碳方法	特 点	应用范围
固体渗碳	渗碳时间较长,劳动条件差,不需专用设备,渗层碳势不易控制	单件、小件、小批生产
离子渗碳	渗速快,渗碳质量好,电与气能低,无污染,但设备成本高	重载和精密零件深层渗碳、批量生产
真空渗碳	可以高温渗碳,加快了渗碳速度,表面无氧化,提高渗层质量,显著改善劳动条件,但设备成本较高	精密件、结构件批量生产
流态床渗碳	传热快,渗速比气体法快,气氛容易控制或改变,有利于复合处理	小批量生产

1.1 渗碳工艺参数

通常的渗碳工艺参数主要有三方面

1) 渗碳介质的化学成分及渗碳气氛特性 渗碳介质的成分与渗碳气氛的碳势、碳传递系数和可用碳等特性有关,其中碳势是炉中气氛渗碳能力的表征,碳传递系数的大小反映了渗碳气氛的渗碳速度快慢。

2) 渗碳温度 常用渗碳温度为 920~940℃,温度愈高,渗速愈快,渗层愈深,但温度过高会引起奥氏体晶粒长大,降低零件的力学性能,增加零件畸变,降低设备使用寿命。通常渗碳温度的选择视要求的渗层深度确定,如 $\delta=0.3\sim 0.6\text{mm}$ 时,温度选为 $(380\pm 10)^\circ\text{C}$ 、 $\delta=0.6\sim 0.8\text{mm}$ 可选用 $(900\pm 10)^\circ\text{C}$ 、 $\delta=0.8\sim 1.2\text{mm}$ 或以上时,选用 $(920\pm 10)^\circ\text{C}$ 。有的要求深层渗碳或缩短渗碳周期,可采用 $(1030\sim 1050)^\circ\text{C}$,但必需采用细晶粒钢、高温渗碳钢或渗碳后再经循环热处理细化晶粒。

3) 渗碳时间 渗层深度确定后,所需渗碳时间可根据渗碳介质的碳势、渗碳工艺方式,渗碳温度和渗碳用钢等因素,利用扩散方程式来进行计算,近似计算多采用 Harris 公式。

$$\text{层深 } \delta(\text{mm}) = 660 \times e^{-8287/T} \sqrt{t}$$

式中 t —时间 (h);

T —温度 (K)。

对几种常用渗碳温度的层深计算公式可简化为:
 870°C , $\delta=0.457\sqrt{t}\text{mm}$; 900°C , $\delta=0.533\sqrt{t}\text{mm}$;
 925°C , $\delta=0.635\sqrt{t}\text{mm}$ 。

不同温度下气体渗碳的速度,见表 5.2-2。

表 5.2-2 不同温度下气体渗碳的速度和平均值

渗层深度 'mm	在以下温度 (°C) 的渗碳速度/mm·h ⁻¹				
	900	925	950	975	1000
0.5 以下	0.45	0.55	0.75	—	—
0.5~1.0	0.30	0.40	0.55	0.75	0.95
1.0~1.5	0.20	0.30	0.40	0.55	0.75
1.5~2.0	0.15	0.20	0.25	0.35	0.55
2.0~2.5	0.12	0.15	0.20	0.25	0.40

渗碳过程的总时间亦可按下式计算:

$$t = \frac{\delta}{v}$$

式中 t —渗碳过程总时间 (h);

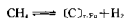
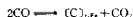
δ —要求渗碳层深 (mm);

v —平均渗速 (mm/h)。

1.2 气体渗碳

采用有机液体或气体碳氢化合物作为渗碳剂,它

在高温炉中形成含 CO、H₂、CH₄、少量 CO₂、C_nH_m 和水蒸气的气体,使钢件在高温下和渗碳介质发生如下主要渗碳反应:



(1) 渗碳气氛特性

通常衡量渗碳的实际效果和质量的指标:是渗碳层深度、钢件表面碳含量及碳浓度梯度、渗层及心部的组织等。

渗碳层深度、表面碳含量以及碳浓度梯度都与渗碳气氛的特性有关,这些特性包括碳势、碳传递系数和可用碳等。

碳势是指在给定温度下,钢件(奥氏体状态)与炉中气氛达到动态平衡时,钢件表面的实际碳含量。碳势是炉气氛渗碳能力的表征,也是渗碳气氛一个重要参数。

碳传递系数是表示碳从渗碳气氛中传入钢表面的传递速度,传递系数 β 值的大小反映了渗碳气氛的渗碳速度快慢, β 值随 CO% 与 H₂% 的乘积而变化(图 5.2-1)。

可用碳是指单位气体可提供碳的质量。

(2) 气体渗碳设备

气体渗碳炉分周期式和连续式两类。周期式渗碳炉主要有三种形式:井式、卧式和旋转罐式。图 5.2-2、图 5.2-3 分别为井式、卧式渗碳炉结构图。连续气体渗碳炉型有推杆式、

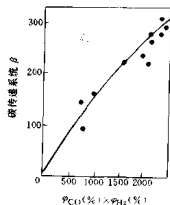


图 5.2-1 碳传递系数 β 随 CO%×H₂% 的积而变化

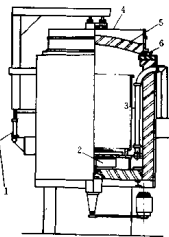


图 5.2-2 井式周期渗碳炉
 虚线所示为炉料的位置
 1—炉盖提升机构 2—再循环
 风扇 3—辐射屏 4—炉盖
 5—隔热板 6—密封圈

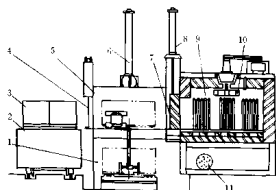


图 5.2-3 带密封淬火槽的卧式周期渗碳炉

- 1—水或油淬槽 2—装卸料车 3—装头盖 4—前室门
5—前室 6—升降气缸 7—内门 8—炉门升降气缸
9—渗碳室 10—循环风扇 11—淬火副热交换器

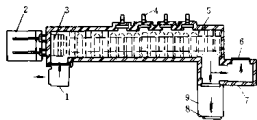


图 5.2-4 双排推杆式连续渗碳炉炉箱头

所指是料盘通过炉子移动的方向

- 1—装料前室 2—推料机构 3—料盘位置 4—循环风扇 (4个) 5—辐射管 (21个) 6—辅助卸料门 7—保温室 8—卸料门 9—淬淬槽

网带输送式、旋转罐式、转底式及振动式等,图 5.2-4 双排推杆式连续渗碳炉,图 5.2-5 旋转罐式连续渗碳炉。

(3) 气体渗碳碳势的自动控制

影响碳势的因素很多,诸如 CO_2 、 H_2O 、 O_2 、 CH_4 、 CO 、 H_2 分压,炉温,炉内总压力,被处理工件中合金元素含量和炉子结构等。在碳势控制系统中,若选取较大的一个自变量作为碳势的控制量,其他次要的影响因素作为恒量来处理,这种控制系统称为单参数控制系统,它所需设备简单,成本低,但控制精度较低,若选用两个或三个影响较大的自变量作为控制量来控制碳势,则称为双参数或三参数控制系统,它设备复杂,控制精度高。渗碳可控气氛常用的分析方法和特点如表 5.2-3 所示。

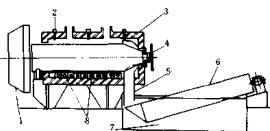


图 5.2-5 旋转罐式连续渗碳炉

- 1—装料端 2—热电偶 (共 3 个) 3—隔热层
4—旋转机构 5—卸料直槽 6—零件卸料输送带 7—淬槽 8—直接燃烧的喷嘴

表 5.2-3 渗碳可控气氛常用分析方法和特点

分析方法	分析组分	分析精度	反应速度	能否连续自动控制	备注
红外线分析法	CO_2 、 CH_4 、 CO	高	15s	能	可多点控制,维护较麻烦
氧化锂法	H_2O	较高	(3~4)min	能	测量范围有限
氧势测定法	O_2	高	(0.5~2)s	能	直接安装在炉内氧探头寿命不太长,较复杂,成本高
电阻法	含 C 率	高	立即读出	能	性能较好,成本低,制作方便,铁丝易损坏

通常可用露点仪、 CO_2 红外仪或氧探头作为检测元件组成单参数控制系统,图 5.2-6、图 5.2-7 分别是露点仪和氧探头方法单参数碳势控制系统方块图。图 5.2-8 是红外线自动控制碳势渗碳工作流程原理图。渗碳液分两处控制,一处用手自动调节网作磅路,供应一定的渗碳液体作基本量;另一处用电磁阀控制,根据炉内 CO_2 含量自动调节电磁阀,以保证炉气碳势。图 5.2-9 为在井式炉中进行滴式可控气氛渗碳工艺的举例。

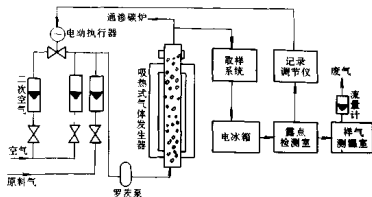


图 5.2-6 露点仪单参数碳势控制系统方块图

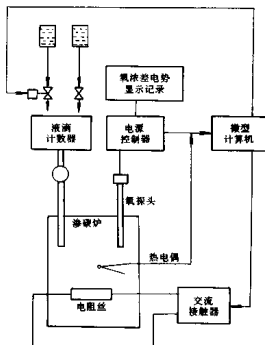


图 5.2-7 氧探头单参数碳势微型计算机控制系统

(4) 气体渗碳介质

常用的气体渗碳剂见表 5.2-4。

1.2.1 滴注式气体渗碳

滴注式气体渗碳一般是把含碳有机液体，滴入(或注入)气体渗碳炉内，使之受热裂解，产生渗碳气氛对工件进行渗碳。

(1) 有机液体渗碳剂

有机液体渗碳剂的品种多，在选用时应考虑以下要求：

- 1) 有机液体加热分解后，产生的气体体积大(即产气量大)。表 5.2-5 为几种有机液体渗碳剂的产气量。
- 2) 有机液体的分子式中，碳与氧的原子数之比大于 1，才可能在渗碳过程界面反应中析出活性碳原子，碳氧原子数比大，析出的活性碳原子多。
- 3) 产生 1 克活性碳原子(12g)所需要的有机液体的质量称为碳当量。碳当量小，在渗碳时所消耗的有机液体滴量少。几种有机液体的产气量与碳当量列于表 5.2-5。从碳当量来看，表 5.2-5 表明，渗碳能力的顺序是：丙酮>异丙醇>醋酸乙酯>乙醇>甲醇。

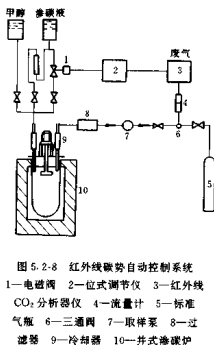


图 5.2-8 红外线碳势自动控制系统
1—电磁阀 2—二位式调节仪 3—红外线 CO₂ 分析仪 4—流量计 5—标准气瓶 6—三通阀 7—取样泵 8—过滤器 9—冷却器 10—并式渗碳炉

		930		
		升温排气阶段	红外线自控渗碳阶段	
时间		1.5h	5.5h	
甲醇	≤900℃, 240 滴/min		240 滴/min (常量)	
	>900℃, 80 滴/min			
煤油	≤900℃, 0		0~80 滴/min (脉冲供给)	
	≥900℃, 240 滴/min			
CO ₂ %			0.35%±0.01 (自控)	
炉压			245~343Pa, 火苗高≈250mm	
碳势		20Cr	20Cr	18CrMnMo
		0.93%	0.98%	1.03%
	渗碳层深度/mm	1.1~1.5	1.2	1.4
860℃淬火, 180℃回火后, 硬度 HRC		60~64	62~64	64~64.5

图 5.2-9 在 RQ3-75-9 型炉中滴注式可控气氛渗碳工艺参数

4) 气氛中 CO 和 H₂ 的含量应稳定。因为在可控气氛渗碳时，无论用 CO₂ 红外仪、露点仪或氧探头单参数控制炉气碳势时，都是以炉气中 CO 和 H₂ 的含量不变为前提。表 5.2-6 为几种渗碳剂在 920℃ 时炉气组分的变化。

由表 5.2-6、图 5.2-10 看出，以炉气中 CO 与 H₂：

不变为依据，丙酮、醋酸乙酯、二号渗碳油及醋酸乙酯+丙酮、醋酸乙酯+甲醇、二号渗碳油+甲醇等是比较理想的渗碳剂。

5) 价格便宜、货源丰富。

(2) 滴注式气体渗碳气氛的碳势

炉气的碳势直接影响渗碳质量，然而炉气的碳势

表 5.2-4 常用的气体渗碳剂

类别	渗剂	组成及特点	使用方法
液 体	煤油	为石蜡烃、烷烃及芳香烃的混合物。一般可用煤油 S 含量的质量分数 < 0.04% 者均可使用; 价格便宜, 来源容易; 易产生碳黑	直接滴入或用燃料泵喷入渗碳炉内, 调节滴流量以控制工件表面碳浓度, 多用于井式炉。用 2 ^号 渗碳油、甲醇和丙酮或醋酸乙酯可实现滴注式可控气氛渗碳
	1 ^号 渗碳油	以精炼低硫石蜡油为基, 加入控制碳黑的添加剂	
	2 ^号 渗碳油	由煤油、含氧物及稀土元素组成	
	甲醇添加酮酯类有机化合物	甲醇 (CH ₃ OH) 和一定比例的丙酮 (CH ₃ COCH ₃) 或醋酸乙酯 (CH ₃ COOC ₂ H ₅) 滴入炉内裂解, 靠调整丙酮或醋酸乙酯滴量控制碳势	
气 体	天然气	主要组成是甲烷 (CH ₄), 尚含有少量乙烷和氮	直接通入炉内裂解
	工业丙烷和丁烷	工业丙烷 (C ₃ H ₈) 和丁烷 (C ₄ H ₁₀) 是炼油厂副产品, 价格便宜, 贮运方便	直接通入炉内或添加少量空气在炉内裂解
	吸热式气氛	用天然气或工业丙、丁烷或焦炉煤气与空气按一定比例混合, 在高温和镍催化剂作用下裂解而成	一般用吸热式气氛作载体气, 用天然气或丙烷作为富化气, 以调整炉气碳势
	氨基渗碳气氛	以氨气为基体, 加入少量碳氢化合物及带氧介质, 不易沉积碳黑, 减少内氧化和氢脆	直接通入炉内, 利用炉内热量使其发生反应

表 5.2-5 几种常用有机液体渗碳剂的产气量与碳当量

液体名称	分子式	分子量	渗碳反应	产气量 /L · mL ⁻¹	碳当量/g
甲 醇	CH ₃ OH	32	CH ₃ OH → (C) + 2H ₂	1.66	—
乙 醇	C ₂ H ₅ OH	46	C ₂ H ₅ OH → (C) + CO + 3H ₂	1.55	46
醋酸乙酯	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88	CH ₃ COOC ₂ H ₅ → 2(C) + 2CO + 4H ₂	1.37	44
异丙醇	C ₃ H ₇ OH	60	C ₃ H ₇ OH → 2(C) + CO + 4H ₂	1.46	30
丙 酮	CH ₃ COCH ₃	58	CH ₃ COCH ₃ → 2(C) + CO + 3H ₂	1.23	29
煤 油	C _n H _{2n+2} ^①		C _n H _{2n+2} → n(C) + (n+1)H ₂	0.73	

① 煤油成分、结构不定, 是大分子烷烃混合物 C_nH_{2n+2}, 其中 n=6~19。

表 5.2-6 几种渗碳剂在 920 °C 炉气成份变化 (连续时间 (260~280) min)

组分 \ 渗碳剂	渗碳剂							
	煤油	二号油	醋酸乙酯	丙酮	煤油 + 甲醇	二号油 + 甲醇	醋酸乙酯 + 甲醇	丙酮 + 甲醇
CO (%) 波动范围	4.4~13 ±15.5%	23.5~25.3 <±1%	34.6~36.9 ±1.5%	30~33 ±1.5%	42~20.5 ±10.75%	32.3~30.5 ±0.9%	33.2~31.9 ±0.65%	32.5~29.8 ±1.35%
CO ₂ (%) 波动范围	0.58~0.2 ±0.19%	0.11~0.14 ±0.05%	0.12~0.15 ±0.015%	0.3~0.34 ±0.025%	0.71~0.22 ±0.25%	0.26~0.14 ±0.06%	0.23~0.15 ±0.028%	0.33~0.21 ±0.06%
CH ₄ (%) 波动范围	2.5~2.7 ±0.3%	0.72~0.75 ±0.05%	0.5~0.7 ±0.10%	0.5~1.1 ±0.35%	2.64~1.37 ±0.64%	1.03~1.25 ±0.11%	0.62~0.74 ±0.06%	0.65~1.04 ±0.20%
CO/H ₂ 波动范围	0.91~0.12 ±0.4%	0.33~0.35 ±0.01%	0.45~0.52 ±0.04%	0.4~0.5 ±0.05%	0.82~0.31 ±0.25%	0.45~0.47 ±0.01%	0.48~0.51 ±0.02%	0.43~0.49 ±0.03%

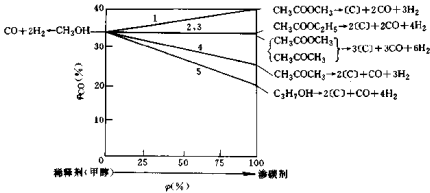


图 5.2-10 不同渗碳剂与甲醇按不同比例混合时 CO 含量的变化

1—乙酸甲酯 2—乙酸乙酯 3—乙酸、甲酯+丙酮 4—丙酮 5—异丙醇

决定于有机液体的组成、分解温度及滴入炉内的量，图 5.2-11 是有机液体的滴量与碳势关系。图 5.2-12 为得到一定碳势的气氛所需滴量与有机液体组成的关系，图中滴液的组成用碳氧比 (C/O) 表示。调节炉

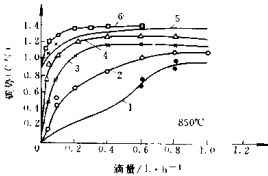


图 5.2-11 碳势与有机液体滴量的关系

1—C/O=1.0 2—C/O=1.2 3—C/O=1.4
4—C/O=1.6 5—C/O=2.0 6—C/O=2.23

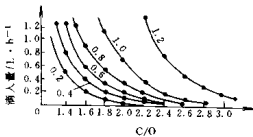


图 5.2-12 滴量与滴液组成 (C/O) 的关系 (试验温度 950°C, 图中数字为碳势)

气中的碳势，可通过改变渗剂滴量或改变渗碳剂种类、比例来达到。渗碳温度、渗碳时间对渗层深度的影响见图 5.2-13、图 5.2-14。

(3) 滴注式气体渗碳工艺参数及实例

为了加快渗碳速度，提高渗碳质量，采用复合渗碳剂，用甲醇与煤油(或丙酮)混合使用、井式炉滴注渗碳的工艺参数见图 5.2-15，表 5.2-7。

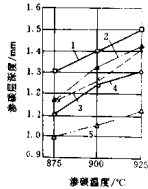


图 5.2-13 渗碳温度与渗层深度的关系

1—20CrNiMo 2—20CrMo 3—20CrNi2Mo
4—15 钢 5—12CrNi3

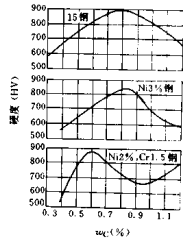


图 5.2-14 三种不同渗碳钢渗碳淬火后的最高表面硬度值所对应的含碳量

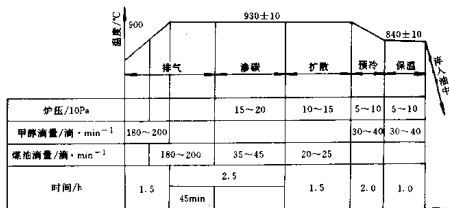


图 5.2-15 20CrMnTi 钢工件在 RJJ-35 井式炉滴注式渗碳和淬火工艺 (渗碳层深度 0.8~1.2mm)

表 5.2-7 井式炉滴注式渗碳时煤油、甲醇滴量举例

各阶段参数名称		炉子型号					
		RJJ-35	RJJ-60	RJJ-75	RJJ-90	RJJ-105	
排 气	甲醇 /滴·min ⁻¹	850~900°C	100	200~300	300	200~250	200~250
		900~930°C	100	100~150	100	200~250	150
	煤油 /滴·min ⁻¹	850~900°C	—	—	—	—	—
		900~930°C	80~100	200	280~300	—	200
碳 调 旁 控	甲醇/滴·min ⁻¹	—	200~300	100	160~180	150	
	煤油/滴·min ⁻¹	—	200	280~300	140~160	200	
碳 势 自 控	要求炉气碳势 (%)	w1.0	w1.15	w1.15	w1.05	w1.15	
	红外仪控制 CO ₂ 值 (%)	0.40	0.30	0.36	0.34	0.30	
	甲醇/滴·min ⁻¹	100	200~300	300	160~180	150~180	
	煤油/滴·min ⁻¹	50~60 脉冲	120 脉冲	75~150 脉冲	120 脉冲	50~60 旁通 常量 150 脉冲	
降 温 或 扩 散	降温温度/°C	未降	850	—	860	未降	
	红外仪控制 CO ₂ 值 (%)	0.60	0.85	—	0.55	0.40	
	甲醇/滴·min ⁻¹	100	300	—	160~180	130	
	煤油/滴·min ⁻¹	50~60 脉冲	—	—	120 脉冲	40~60 脉冲	
零件表层碳的质量分数 (%)		0.8~0.9	0.8~1.0	0.8~1.0	0.85~1.0	0.85~1.0	
材料			20CrMnTi	20	20CrMnMo	20CrMnTi	
层深/mm			0.9~1.3	1.3~1.9	1.2~1.7	0.9~1.3	
总渗碳面积/m ²				2.5			
装料质量/kg				250			

注: 1. 滴量为每 100 滴 4mL。

2. 渗碳温度 930°C。

3. w 为 C 的质量分数。

滴注式深层渗碳 大型低速重载齿轮要求渗碳层深度超过 3mm, 有的甚至达 8mm, 图 5.2-16 是一种深层渗碳曲线。强渗区碳势控制 1.65%~1.85%, 齿轮表面碳浓度 1.2%~1.3% 之间。扩散区第一、二、三扩散

区碳势分别控制在 1.2%~1.25%、1.1%~1.15%、1.05%~1.1%。使齿轮表面碳浓度逐步相应降至 1.0%~1.1%, 0.9%~1.0%, 0.8%~0.95%, 深层深度达要求值。降温至 800~820°C 保温 1h 出炉抗冷。

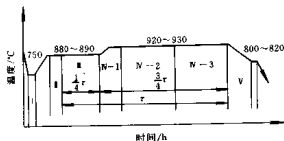


图 5.2-16 滴注式深层渗碳工艺曲线

I—预热区 1~2h II—均热区 III—渗碳区
M1、M2、M3 是三段扩散区 V—降温区

1.2.2 吸热式气氛渗碳

(1) 吸热式渗碳气氛

连续式炉和密封箱式炉中进行气体渗碳时，常采用吸热式气体加富化气作为渗碳气氛。富化气可以是甲烷或丙烷。吸热式渗碳气氛的成分见表 5.2-8。炉气的主要成分是 CO 、 N_2 、 H_2 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 ，其中 N_2 是中性气体，起稀释作用。

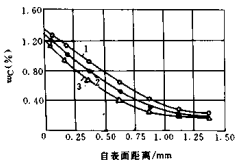


图 5.2-17 气体渗碳温度对碳浓度分布曲线的影响（箱式炉渗碳，含甲烷 12%）渗碳 4h，
1—925°C 2—900°C 3—870°C

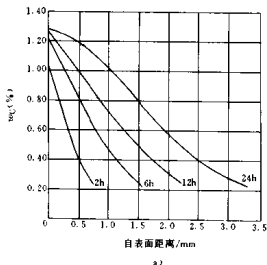


图 5.2-19 20 钢于 920°C 在 20%CO-40% H_2 气体中渗碳时甲烷加入量对碳浓度分布曲线的影响

a) CH_4 1.6% b) CH_4 3.8%

表 5.2-8 几种吸热式气氛组成

原料气	混合比 空气:原 料气	气氛组成 (%)						
		CO_2	O_2	H_2O	CH_4	CO	H_2	N_2
天然气	2.5	0.3	0	0.6	0.4	20.9	40.7	余量
城市煤气	0.4~ 0.6	0.2	0	0.12	1.5	25~ 27	41~ 48	余量
丙烷	7.2	0.3	0	0.6	0.4	24.0	33.4	余量
丁烷	9.6	0.3	0	0.6	0.4	24.2	30.3	余量

(2) 吸热式渗碳气氛的碳势

渗碳层表面碳含量与碳的浓度梯度决定于炉气中碳势、钢表面的界面反应速度、渗碳温度与时间及钢中合金元素等因素。图 5.2-17 为 20 钢气体渗碳温度对表面碳含量及碳浓度梯度影响。图 5.2-18 为三种钢在 925°C 渗碳后的碳浓度梯度曲线。

图 5.2-19 为 20 钢在 20%CO-40% H_2 气体中分别加入 1.6% 和 3.8% CH_4 的渗碳气氛中于 920°C 渗碳后的碳浓度梯度曲线。

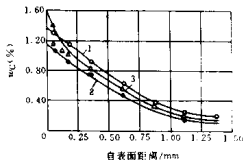


图 5.2-18 三种钢在 925°C 渗碳 4h 后渗层的
碳浓度分布曲线
1—20 钢 2—12Ni5 3—12CrNi3

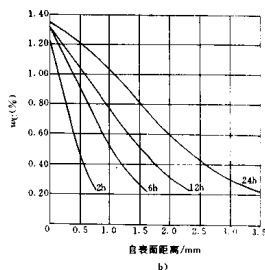


图 5.2-20 为 20 钢在 920 C 气体渗碳时碳势对碳浓度分布的影响。

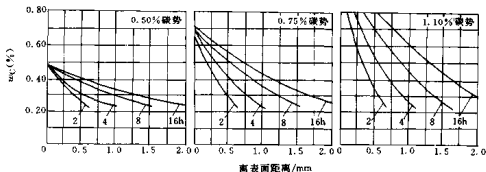


图 5.2-20 20 钢在 920 C 于碳势不同的炉气中经不同时间的渗碳、渗层碳含量的变化

图 5.2-21 为 20CrMnTi 钢在 75kW 密封箱式炉中的渗碳工艺曲线，渗碳后碳浓度梯度示于图 5.2-22。

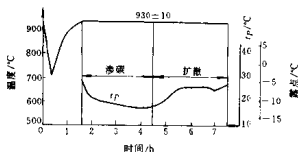


图 5.2-21 在 75kW 密封渗碳炉中的渗碳工艺
 t_P ——氧化埋盒点位的平衡温度

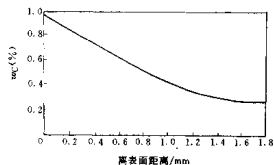


图 5.2-22 20CrMnTi 在 930°C 渗碳后的碳浓度沿层变化
(渗碳 3h, 扩散 3h)

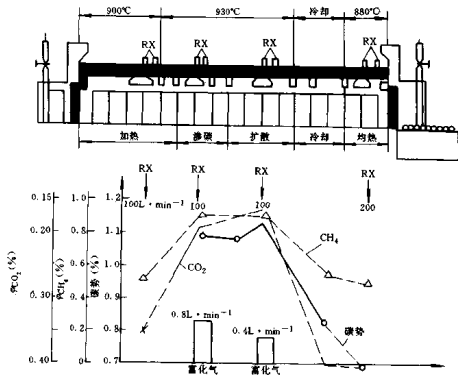


图 5.2-23 连续式作业吸热式可控气氛渗碳炉及其碳势分布

连续式炉渗碳时,对应加热、强渗、扩散和预冷淬火等4个阶段把炉膛分成4个区域。不同区域要求炉气碳势不同,应实行分区碳势控制与温度控制,不同区域所需时间根据工件渗层深度与碳浓度分布曲线而定。实际作业时间依靠调整料盘进节拍来达到不同周期所要求的时间。

图5.2-23为连续式可控气氛渗碳炉的基本结构,不同区域渗碳气体通入量及碳势测定结果。

1.2.3 氨基气氛渗碳

以氮气为基体,加入少量碳氢化合物(如 C_2H_6 、 CH_4)及含氧介质空气(或 CO_2),直接通入炉内,在高温时,碳氢化合物与空气中氧或 CO_2 发生反应,生成一氧化碳和氢及少量二氧化碳和水蒸气,即可形成渗碳气氛,氮气为载体气。

氨基气氛渗碳的机理和传统的气体渗碳是一致的,其渗速和渗碳质量也是相当的,然而氨基气氛具有节省能源、气源丰富、安全经济和适应性广的优点。在

丙烷、天然气缺少情况下,氨基气氛渗碳正在不断完善和发展,氨基渗碳气氛见表5.2-9。

氨基渗碳气氛中,氮气的稀释虽然降低了气氛中CO含量,但同时也降低了脱碳性组分 CO_2 和 H_2O 的含量。为了使氨基渗碳气氛具有足够的碳传递系数和可用碳,炉气中CO含量不应低于15%。

用甲醇、乙醇裂解气和氮气制备的氨基渗碳气氛,是一种简便易行的新途径。可采用甲烷(CH_4)或丙烷(C_3H_8)作富化气,也可采用丙酮或醋酸乙酯的裂解气作为富化气制备氨基渗碳气氛代替吸热式气氛,省去了吸热式气氛的发生装置,并可使滴注式气体渗碳法推广到连续式渗碳炉的大批量生产中。

氨基气氛渗碳在汽车、农机及其他一些零件上的应用见表5.2-10。 $N_2+C_2H_6$ +空气系统(表5.2-9)气氛渗碳时, CO_2 含量与渗碳件表面碳含量关系见图5.2-24。 $N_2+CH_4+CO_2$ 系统(见表5.2-10)碳势与 CH_4/CO_2 比值关系见图5.2-25。

表5.2-9 氨基渗碳气氛和吸热式气氛的组成

类型	气氛	成分(质量分数)(%)					露点/°C	碳势 /kJ·mol ⁻¹	备注
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂			
氨基 渗 碳 气 氛	N ₂ +甲醇+富化气 (剂)	15~20	35~45	0.3	0.4	余量	0	—	Endomix法(英国)
		18~23	27~45	—	0.1~0.3	37~47	0	—	UCAR法(美国) ALNAT-C法(法国)
	N ₂ +C ₂ H ₆ (或CH ₄)	0.4	—	15	0.024	余量	—	—	渗碳扩散 (CH ₄ =0)
		0.1	—	—	0.01	—	—	—	
	N ₂ +C ₂ H ₆ +空气	4~6	8~10	0.8~1.5	0.04~0.1	~85	-20~-40	-469~-502	NCC系统(英国)
		N ₂ +CH ₄ +CO ₂	2~4	10~12	3~5	0.02~0.6		~80	-448~-465
N ₂ +碳氢化合物+H ₂		15~20	40~50	2~5	0.12	35~40		-6.7	—
吸热式气氛	空气+煤油	24	28.4	1.47	0.15	48.13	—	—	碳势0.95%
		丙烷	23~25	30~32	0.4~0.8	0.12~0.36	~45	+5~-10	-444~-461
	天然气	20~22	40~42	0.5~1.5	0.1~0.3	~38	0~-15	-448~-468	—

表5.2-10 氮和甲醇基气氛渗碳应用

零件	牌号	处理方法	气氛	结果
驱动小齿轮	20CrMo	周期性炉渗碳 920°C×1.5h +850°C×0.5h 油淬	N ₂ 40%+CH ₃ OH60%+CH ₄ (CO=18.6% H ₂ =0.9%) (CO=0.2% CH ₄ =1%)	表面清洁,表面硬度 824HV
转向齿轮	20CrMo	连续螺旋输送机渗碳 900°C×1h 水压淬火	N ₂ 50%+CH ₃ OH50%+CH ₄	表面清洁,表面硬度 900HV,表面碳量 0.8%,无残余奥氏体
传动齿轮(货车)	18CrNi8	24盘连续式推杆式炉渗碳 工艺周期 78min 120°C 油淬	N ₂ 40%+CH ₃ OH60%+CH ₄ CO ₂ 可调到 0.2%	表面清洁,表面硬度 60~64HRC 表面碳量 0.8%

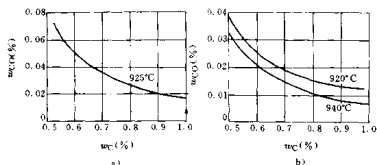


图 5.2-24 NCC 气氛中 CO_2 含量与渗碳零件表面含碳量之间关系
a) 添加天然气, 925°C 时 b) 添加丙烷, 920~940°C 时

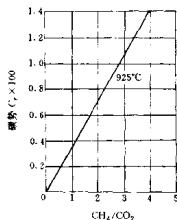


图 5.2-25 CAP 系统碳势与 CH_4/CO_2 比值之间关系

为了提高气体渗碳速度, 在渗碳介质中加入稀土元素, 能提高炉气碳势和界面碳传递系数, 对碳在渗层奥氏体中的扩散没有明显的影响。氮基气氛含水蒸气少, 碳势控制不宜采用露点仪, 当炉气氮 $\text{N}_2 > 70\%$ 时, 亦准用 CO_2 红外仪进行碳势控制, 最好用氧探头控制。

1.2.4 防渗与安全

渗碳前工件表面应除油和去氧化皮, 不渗的部位应镀铜或涂敷防渗涂料或粘附防渗膜, 理想的防渗涂料应该具备以下三点要求:

1) 涂料工艺性能好, 不结块、不变质, 容易搅拌, 容易涂敷, 无毒和不易燃烧; 2) 涂料防渗效果好, 资源广泛; 3) 防渗涂层在热处理时容易清除。表 5.2-11 列出防渗涂料的组分。

表 5.2-11 防渗涂料的组和使用方法

膏剂的组成	使用方法
氯化亚铜 2份 铅丹 1份 松香 1份 酒精 2份	将 a、b 分别混合均匀后, 用 b 将 a 调成浆糊状, 用软毛刷向工件防渗部位涂抹, 涂层厚度大于 1mm, 应致密无孔、无裂纹
耐热火砖粉 40% 耐火粘土 60%	混合均匀后用水玻璃调配成干稠状, 填入轴孔处, 并捣实, 然后风干或低温烘干
玻璃粉 $\geq 0.075\text{mm}$ 70%~80% 滑石粉 30%~20% 水玻璃适量	涂层厚度约 0.5~2mm, 涂后经 130~150°C 烘干
石英粉 85%~90% 硼砂 1.5%~2.0% 滑石粉 10%~15%	用水玻璃调匀后使用

膏剂的组成		使用方法
铅丹	4%	调匀后使用, 涂敷两层, 此剂适用于高温渗碳
氧化铝	8%	
滑石粉	16%	
水玻璃	72%	
氧化铝(1~3 μm)	29.6%	灰白色, 密度 2.25g/cm ³ , 粘度 20°C 时为 46s, 涂层厚度 0.20~0.25mm, 适用温度 1000~1100°C, 涂料使用前要搅拌均匀, 浸渍涂敷
氧化硅(2~5 μm)	22.2%	
碳化硅(1.3mm)	11.1%	
碳化硅(0.6mm)	11.1%	
K_2SiO_3 (化学试剂)	7.4%	
H_2O	18.6%	

气体渗碳的安全预防

进行气体渗碳时, 应采取安全措施, 有些气体渗碳介质有毒, 且易燃, 应知道渗碳气氛中 CO 、 H_2 和 CH_4 在空气中可以点燃的含量范围 (如 4% H_2 或 12.5% CO) 和最低点燃温度 (如 H_2 、 CO 是 595°C)。为了预防发生爆炸的危险, 渗碳气体通入炉内必须炉温高于 760°C。没有点燃的炉气或发生炉气不允许在室内排放, 必须严格遵守渗碳炉的操作规程和安全防火规则。

1.3 固体渗碳

将工件放在填充粒状渗碳剂的密封箱中进行渗碳的工艺称为固体渗碳。渗碳剂由供碳剂和催渗剂等部分组成, 常用固体渗碳剂的组成见表 5.2-12。

表 5.2-12 常用固体渗碳剂组成

组分名称	含量(%)	使用情况
碳酸钡	20~25	在 930~950°C, 渗碳时间 4~15h, 渗层厚度 0.5~1.5mm
CaCO_3	3.5~5	
木炭(白桦木)	余量	

(续)

组分名称	含量(%)	使用情况
BaCO ₃	10~15	工作混合物由25%~30%新渗碳剂和75%旧渗碳剂组成。工作物中含BaCO ₃ 5%~7%
CaCO ₃	3.5	
煤的半焦炭	余量	
BaCO ₃	3~5	1. 20CrMnTi, 930℃渗碳7h层深1.33mm, 表面浓度1.07%C 2. 用于低合金钢时, 新旧渗碳剂比为1:3; 用于低碳钢, BaCO ₃ 应增至15%
木炭	余量	
BaCO ₃	15	新旧渗剂比为3:7, 920℃渗碳层深1.0~1.5mm; 平均渗碳速度0.11mm/h, 表面碳浓度1.0%C
CaCO ₃	5	
木炭	余量	
BaCO ₃	3~4	18Cr2Ni4WA及20Cr2Ni4A, 层深1.3~1.9mm时, 表面碳浓度为1.2%~1.5%。用于12CrNi3钢时BaCO ₃ 需增至5%~8%
Na ₂ CO ₃	0.3~1.0	
木炭	余量	
BaCO ₃	10	新旧渗剂的比例为1:1, 20CrMnTi 钢汽轮机被动齿轮, (4561, m=5) 在900℃渗碳12~15h 磨齿后层深达0.8~1.0mm
Na ₂ CO ₃	3	
CaCO ₃	1	
木炭	余量	
黄血盐	10	低碳钢及低碳合金钢, 920℃保温3~4h, 层深1.2mm
Na ₂ CO ₃	10	
木炭	余量	
膦酸钠	10	由于含膦酸钠(或膦酸根), 渗碳活性较高, 速度较快, 但容易使表面碳浓度过高, 因含焦炭, 渗剂热强度高及抗烧损性能好
焦炭	30~35	
木炭	55~60	
重油	2~3	

目前国内固体渗碳剂已商品化, 多制成粒状, 按粒度分成6种, 按活性分成强、中、弱3种, 技术要求参见ZBJ36 008《固体渗碳剂》专标。

固体渗碳的典型工艺如图5.2-26所示, 对于细晶粒钢可采用图5.2-27的工艺。为了缩短生产周期, 提高渗碳速度, 可采用高温渗碳或用强催渗剂渗碳。

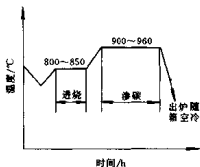


图5.2-26 普通固体渗碳典型工艺

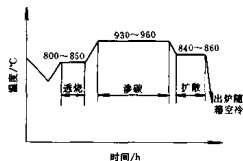


图5.2-27 分级固体渗碳典型工艺

膏剂渗碳是指工件表面以膏状渗碳剂涂覆进行渗碳的工艺。这种工艺方法适用于单件生产或修复渗碳和局部渗碳, 几种膏剂渗碳的组成及使用效果见表5.2-13。

表5.2-13 渗碳膏剂组成及使用效果

序号	膏剂组成	使用方法及效果
1	炭粉(100目) 64%	三种盐混匀, 用少量水加热溶解, 然后加入炭粉, 再用水把面粉调成糊状, 与前者混合, 使之成渗碳膏。低碳钢920℃, 15min 渗碳, 渗层深0.25~0.3mm, 淬火后表面硬度56~62HRC
	碳酸钠 6%	
	膦酸钠 6%	
	黄血盐 12%	
	面粉 12%	
2	碳黑粉 30%	将所列原粉混合后, 形成胶状。在工件渗碳表面涂敷2~3mm厚的膏剂。对于低碳钢, 在920~940℃时的渗碳速度为1~1.2mm/h
	碳酸钠 3%	
	膦酸钠 2%	
	废机油 25%	
3	柴油 40%	
	碳黑 55%	渗碳温度为950℃时不同渗碳时间所得渗层深度 保温时间/h 1.5 2.0 2.5 3.0 渗层深度/mm 0.6 0.8 0.9 1.0 表层碳浓度1.0%~1.2%, 淬火后硬度60HRC
	碳酸钠 30%	
草酸钠 15%		

1.4 液体渗碳与电解渗碳

(1) 液体渗碳

在熔融盐浴渗碳剂中进行渗碳的工艺称为液体渗碳, 又称盐浴渗碳。几种液体渗碳盐浴的组成及使用效果见表5.2-14。

渗碳层薄及变形要求严格的工件, 采用较低的渗碳温度(如850~880℃), 甚至在750℃左右进行; 要求渗层较厚的工件, 采用较高的渗碳温度(如900~920℃)。

表 5.2-14 液体渗碳盐浴组成和使用效果

序号	盐浴组成(质量分数)(%)			主要化学反应	使用效果
	组成物	新盐成分	盐浴控制成分		
1	NaCN BaCl ₂ NaCl	4~6 80 14~16	0.9~1.5 68~74 -	2NaCN + BaCl ₂ → 2NaCl + Ba(CN) ₂ ; Ba(CN) ₂ + Ba(CN) ₂ → BaCN ₂ + (C)	与其他盐浴相比,本盐浴较易控制,渗碳工件表面碳含量稳定。例:20CrMnTi、20Cr钢,920℃渗碳3.5~4.5h,表面最高碳浓度0.83%~0.87%。
2	603 渗碳剂 ^① KCl NaCl Na ₂ CO ₃	10 40~45 35~40 10	2~8(碳) 40~45 35~40 2~8	(1) Na ₂ CO ₃ + C → Na ₂ O + 2CO 2CO → CO ₂ + (C) (2) 3(NH ₄) ₂ CO + Na ₂ CO ₃ → 2NaCNO + 4NH ₃ + 2CO ₂ 4NaCNO → 2NaCN + Na ₂ CO ₃ + CO + 2(N) (盐浴中NaCN为0.5~0.9%)	该盐浴原料无毒,在920~940℃时,装炉量为盐浴总重的50%~70%。20钢渗碳试样的渗碳深度为: 保温时间(h) 渗层深度(mm) 1 >0.5 2 >0.7 3 >0.9
3	渗碳剂 ^② NaCl KCl Na ₂ CO ₃	10 40 40 10	5~8(碳) 40~50 33~43 5~10	Na ₂ CO ₃ + C → Na ₂ O + 2CO 2CO → CO ₂ + (C)	(920~940)℃时渗碳速度如下: 渗碳时间(h) 渗碳层深度/mm 20 20Cr 20CrMnTi 1 0.3~0.4 0.55~0.65 0.55~0.65 2 0.7~0.75 0.9~1.0 1.0~1.10 3 1.0~1.10 1.4~1.5 1.42~1.52 4 1.28~1.34 1.56~1.62 1.56~1.64 5 1.40~1.50 1.80~1.90 1.80~1.90 表面碳浓度(0.9~1.0)%
4	Na ₂ CO ₃ NaCl SiC (粒度26~50)	78~85 10~15 6~8	2Na ₂ CO ₃ + SiC → Na ₂ SiO ₃ + Na ₂ O + 2CO + (C)	880~900℃渗碳30min,总层深0.15~0.20mm,共析层0.07~0.10mm,硬度72~78HRA	

① 603 渗碳剂组成为 NaCl15%、KCl10%、Na₂CO₃15%、(NH₄)₂CO₂₀%、木炭粉0.154mm(100目)5%。

② 渗碳剂组成为:木炭粉0.280~0.154mm(60~100目)70%、NaCl30%。

液体渗碳剂大多数都含有剧毒氰盐,可能造成严重污染,但由于液体渗碳工艺设备简单,操作方便和质量稳定等优点,特别是处理温度低,时间短,变形小等优点,因此在有些轻纺机械工业生产中仍有应用,但对含有大量氧化物的工艺,应淘汰与禁用。

液体渗碳操作时要注意安全,未经烤干的工件或工具不允许放入高温盐浴中。盐浴“老化”后,要补充新盐,也必须烘干才允许加入盐浴中。

(2) 电解渗碳

在被处理的工件(阴极)和熔盐中的石墨(阳极)之间通以电流进行渗碳的工艺称电解渗碳。是利用电化学反应使碳原子渗入工件表层。电解渗碳装置如图5.2-28。

电解渗碳与常规渗碳比较具有如下优点:无公害,设备简单,不需要废液处理装置,加热温度均匀,操作简便,适用于多品种小批量生产等。电解渗碳的缺点是

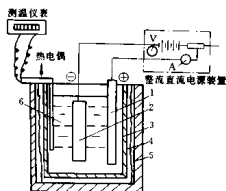


图 5.2-28 电解渗碳装置简图

1—石墨 2—工件 3—坩埚 4—加热元件
5—炉体 6—盐浴

工件的数量、尺寸受到盐浴炉容量大小限制,对形状复杂的工件还会由于电流密度不均而造成渗层深度和浓

度不均,电解渗碳盐浴主要是碱土金属碳酸盐,加上调整熔点和稳定盐浴的溶剂。电流密度与渗层碳浓度的关系如图 5.2-29。电解渗碳温度与渗层深度的关系如图 5.2-30。电流密度与渗层深度的关系如图 5.2-31。

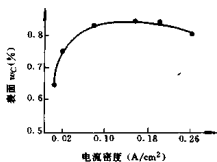


图 5.2-29 20 钢电解渗碳电流密度与渗层碳浓度关系 (920±10℃, 5h)

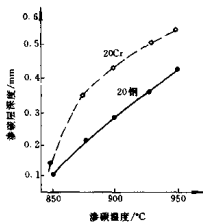


图 5.2-30 渗碳温度与渗层深度关系 (电流密度 12A/cm², 2h)

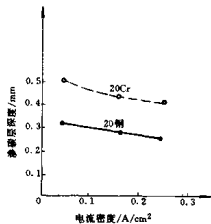


图 5.2-31 电流密度与渗层深度关系 (920±10℃, 5h)

机床摩擦片电解渗碳工艺见图 5.2-32。检查结果渗碳层深度为 0.7~0.9mm, 780℃ 淬水后, 表面硬度为

为 61~64HRC, 经 300℃ 回火后表面硬度为 50~54HRC。

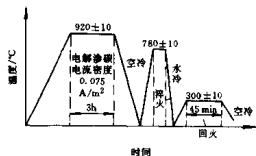


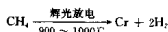
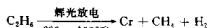
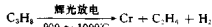
图 5.2-32 机床摩擦片电解渗碳及热处理工艺

1.5 离子渗碳与其他渗碳方法

1.5.1 离子渗碳

在低于一个大气压的渗碳气氛中,利用工件(阴极)和阳极之间产生的辉光放电进行渗碳的工艺称离子渗碳,又称辉光离子渗碳。

离子渗碳的原理与离子渗氮相似,工件渗碳时所需的活性碳原子或离子,不仅像常规气体渗碳一样利用热分解反应,而且还利用辉光放电时在阴极(工件)位降区中工作气体的电离而获得。以渗碳介质丙烷为例,它在等离子渗碳中的反应过程如下式:



式中 Cr——活性碳原子和离子(C⁺)。

离子渗碳,具有一系列优点,比常规气体渗碳乃至真空渗碳都优越,对于承受重载的高精度的重要零件或要求高浓度渗碳、深层渗碳、烧结件的渗碳,尤为适用。离子渗碳与真空渗碳、普通气体渗碳的比较见表 5.2-15。

表 5.2-15 等离子渗碳与真空渗碳、普通气体渗碳的比较

项目	等离子渗碳	真空渗碳	气体渗碳
炉型	真空辉光放电 电阻炉	真空、电阻炉	电阻炉/(燃烧炉)
适用范围	多种功能	除渗氮外较多功能	渗碳、渗氮专用
渗碳温度/℃	950~1050	900~940	1030~1050