

# 热处理工艺

## 全书

主编 谢绍自

RECHULIGONGYI  
QUANSHU

山西人民出版社

表 6-8 氨基气氛、吸热气氛和滴注式渗碳速度比较

气氛类型及成分	吸热式气体渗碳 (体积分数)CO <sub>2</sub> 0%、 H <sub>2</sub> 20%、N <sub>2</sub> 40%	N <sub>2</sub> -甲醇-富化 气(体积分数)CO <sub>2</sub> 0%、 H <sub>2</sub> 20%、N <sub>2</sub> 40%	滴注式(体积分数) CO33%、H <sub>2</sub> 66%
碳传递系数 $\beta 10^{-5} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	1.3	0.35	2.8
渗碳工艺/°C·h	927×4	927×4	950×2.5
材料	8620	8620	碳钢
渗碳速度/mm·h <sup>-1</sup>	0.44	0.56	0.30

注:8620相当于我国的 20CrNiMo 钢

(4) 适宜用反应灵敏的氧探头作碳势控制。

(5) 渗入速度不低于吸热式气氛渗碳(见表 6-8)。

3. 氨基气氛渗碳工艺实例 工件: 泥浆泵阀体、阀、氨基气氛渗碳。材料: 20CrMnTi, 20CrMnMo, 20CrMo; 设备: 105kW 井式气体渗碳炉; 炉内气体成分: N<sub>2</sub>: H<sub>2</sub>:CO = 4:4:2; 渗碳层深度  $\delta \geq 1.6\text{mm}$ , 碳化物 3~5 级, 过共析层 + 共析层不小于 1mm, 过渡层不大于 0.6mm, 表面淬火硬度 35~40HRC, 表面氧化脱碳不大于 0.03mm。采用如图 6-16 所示的渗碳, 完全可以达到上述要求。

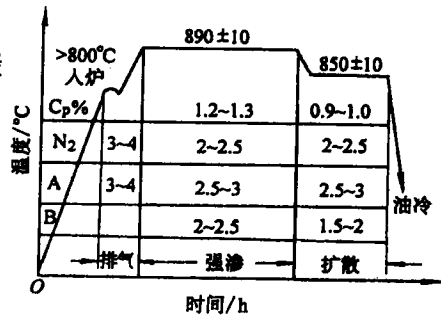


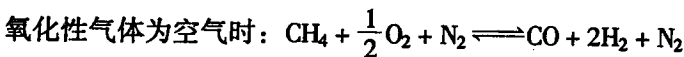
图 6-16 阀体、阀座氨基气氛渗碳工艺  
N<sub>2</sub> 流量单位为 m<sup>3</sup>/h, A (甲醇),  
B (碳氢化合物) 流量单位为 L/min

#### (四) 直生式气体渗碳

直生式渗碳, Ipsen 公司称为超级渗碳 (Supercarb), 是将燃料 (或液体渗碳剂) 与空气或 CO<sub>2</sub> 气体直接通入渗碳炉内形成渗碳气氛的一种渗碳工艺。随着计算机控制技术的不断成熟和完善, 直生式渗碳的可控性也不断提高, 应用正逐步扩大。图 6-17 为直生式渗碳系统简图。

1. 直生式渗碳气氛 直生式渗碳气体由富化气 + 氧化性气体组成。常用富化气为: 天然气、丙烷、丙酮、异丙醇、乙醇、丁烷、煤油等。氧化性气体可采用空气或 CO<sub>2</sub>。

富化气 (以 CH<sub>4</sub> 为例) 和氧化性气体直接通入渗碳炉时发生以下反应, 形成渗碳气氛:



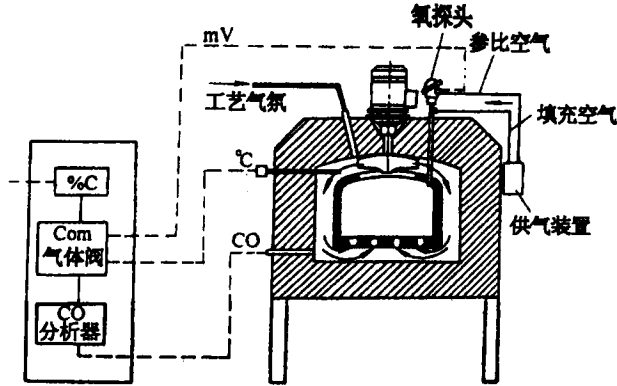


图 6-17 直生式渗碳系统简图

氧化性气体为  $\text{CO}_2$  时:  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + 2\text{H}_2$

温度不同, 富化气和氧化性气体不同, 渗碳气氛中  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  含量不同 (图 6-18)。

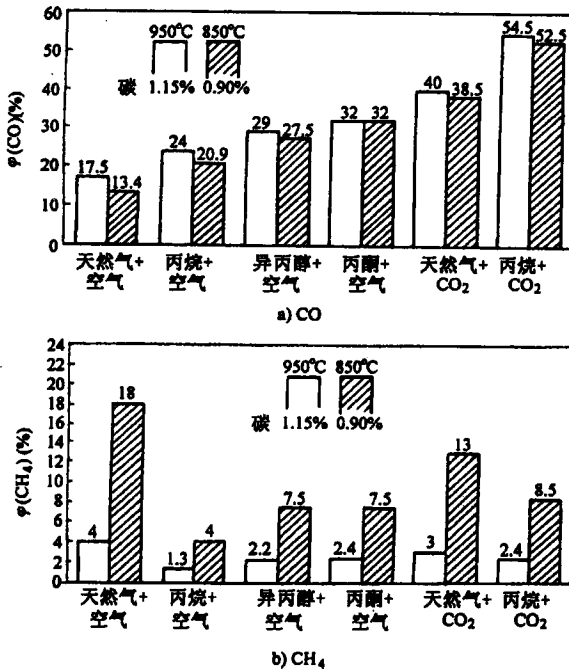


图 6-18 850°C和 950°C温度下, 不同直生式气氛 a)  $\text{CO}$  平均含量 b)  $\text{CH}_4$  平均含量

2. 直生式渗碳气氛的碳势及控制 直生式气体渗碳的主要渗碳反应是:  $\text{CO}$

$\rightleftharpoons [\text{C}] + \frac{1}{2}\text{O}_2$ , 直生式渗碳气氛是非平衡气氛,  $\text{CO}$  含量不稳定。所以应同时测

量 O<sub>2</sub> 和 CO 含量，再通过上式计算出炉内的碳势。

调整富化气与氧化性气体的比例可以调整炉气碳势。通常是固定富化气的流量（或滴量），调整空气（或 CO<sub>2</sub>）的流量。

### 3. 直生式渗碳的优点

(1) 碳传递系数较高（见表 6-9）。

(2) 设备投资小。与吸热式气氛渗碳相比，可以节省一套气体发生装置。直生式渗碳炉的密封要求不高，即使有空气漏入炉内引起炉气成分波动，碳势的多参数控制系统也会及时调整氧化性气体（空气或 CO<sub>2</sub>）的通入量，精确地控制炉气碳势。

(3) 碳势调整速度快于吸热式和氮基渗碳气氛。

(4) 渗碳层均匀，重现性好。

表 6-9 不同气氛中的碳传递系数(β)比较(渗碳温度:950℃,碳势 C<sub>p</sub> = 1.15%)

渗碳气氛类型	吸热式 (天然气)	吸热式 (丙烷)	甲醇 +40%N <sub>2</sub>	甲醇 +20%N <sub>2</sub>	天然气 +空气 (直生式)	丙烷 +空气 (直生式)	丙酮 +空气 (直生式)	异丙醇 +空气 (直生式)	天然气 +CO <sub>2</sub> (直生式)	丙烷 +CO <sub>2</sub> (直生式)
φ(CO)(%)	20	23.7	20	27	17.5	24	32	29	40	54.5
φ(H <sub>2</sub> )(%)	40	31	40	54	47.5	35.5	34.5	41.5	48.7	39.5
β × 10 <sup>-1</sup> cm·s <sup>-1</sup>	1.25	1.15	1.62	2.12	1.30	1.34	1.67	1.78	2.62	2.78

(5) 原料气的要求较低，气体消耗量低于吸热式气氛渗碳（见表 6-10）。

## 五、液体渗碳

液体渗碳即盐浴渗碳，优点是设备简单，渗碳速度快，渗碳层均匀，操作方便，特别适用于中小型零件及有不通孔的零件。但是采用剧毒的氰化物配制的盐浴对环境和操作者存在危害。

1. 盐浴配制 渗碳盐浴一般由基盐、催化剂、供碳剂三部分组成。

基盐一般不参予渗碳反应。常用 NaCl、KCl、BaCl<sub>2</sub> 或复盐配制。改变复盐配比可调整盐浴的熔点和流动性。BaCl<sub>2</sub> 有时兼有催化作用。催化剂一般采用碳酸盐，如 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、BaCO<sub>3</sub>、(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO。供碳剂常用 NaCN，木炭粉、SiC。根据供碳剂及催化剂的种类可将渗碳盐浴分成两大类。

(1) NaCN 型，这类盐以 NaCN 为供碳剂，使用过程中 CN 不断消耗，老化到一

定程度后取出部分旧盐，添加新盐，增加 CN 活化盐浴。这种盐浴相对易于控制，渗碳件表面的含碳量也较稳定，但是 NaCN 剧毒。

(2) 无 NaCN 型，这类盐浴常用木炭粉，SiC 或两者并用作为供碳剂，催化剂为  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 。这类盐浴无 NaCN，但是  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  在盐浴中会反应生成少量 NaCN。

以 SiC 为供碳剂的盐浴，使用过程中盐浴粘度增大，并有沉渣产生。以木炭粉为供碳剂的盐浴，木炭粉易漂浮，易造成盐浴成分不均匀。可将木炭粉、SiC 等用粘结剂制成一定密度的中间块。

表 6-10 直生式与吸热式气体渗碳的耗气量对比

炉型	生产能力/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	耗气量/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	
		吸热式气氛 (吸热式气体 + 富化气)	直生式气氛 (天然气 + 空气)
箱式炉	350	>	1
滚筒式炉	170	15	1.5
网带式炉	淬火:800 渗碳(渗层 0.1mm):560	25	1.7
转底式炉	1500	4.8	3.5

## 2. 盐浴渗碳工艺 (见表 6-11)

### 3. 盐浴渗碳操作要点

(1) 新配制的盐或使用中添加的盐应事先烘干，新配制和添加供碳剂盐浴时应加以搅拌使成分均匀。

(2) 定期检测调整盐浴的成分。

(3) 定期放入渗碳试样，随工件渗碳淬火及回火并按要求对试样进行检测。

(4) 工件表面若有氧化皮、油污等，进炉之前应予去除，并保持干燥，防止带入水分引起熔盐飞溅。

(5) 渗碳或淬火完毕后应及时清洗去除工件表面的残盐。

表 6-11 渗碳的盐浴组成,工艺及效果

序号	盐浴成分(质量分数) (%)	渗碳工艺及效果(成分为质量分数)
1	NaCN - 4 ~ 6, BaCl <sub>2</sub> - 80, NaCl - 14 ~ 16	盐浴控制成分: NaCN - 0.9% ~ 1.5%, BaCl <sub>2</sub> - 68% ~ 74% 20CrMnTi, 20Cr, 900℃ × 3.5 ~ 4.5h, 表面最高碳含量: 0.83% ~ 0.87%

## 第六章 化学热处理

序号	盐浴成分(质量分数)(%)	渗碳工艺及效果(成分为质量分数)										
2	603 渗碳剂 - 10 <sup>①</sup> , NaCl - 35 ~ 40, KCl - 40 ~ 45, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - 10	盐浴控制成分: 20% ~ 8% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 该盐浴原料无毒, 但配制并加热后, 反应产生 0.5% ~ 0.9% NaCN。20 钢 920℃ 渗碳										
		保温时间/h	1	2								
		渗碳层深度/mm	> 0.5	> 0.7	> 0.9							
3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - 10, NaCl - 35, KCl - 45, 渗碳剂 - 10 <sup>②</sup>	第一次配制加入 10% 渗碳剂, 以后补充量 6% ~ 8%。盐浴稳定成分均匀 A3 钢 900℃ 渗碳表面碳含量为 0.99%。										
		渗碳时间 i/h	盐浴中不同位置第 i 小时试验的渗速/mm·h <sup>-1</sup>									
			上		中		下					
			A + D	B + D	A + D	B + D	A + D	B + D				
		1	0.48	0.54	0.48	0.52	0.49	0.51				
		2	0.46	0.52	0.48	0.52	0.46	0.52				
3	0.45	0.52	0.46	0.51	0.46	0.52						
4	NaCl - 42 ~ 48, KCl - 42 ~ 48, 草酸混合盐 - 0.5 ~ 5.0, 碳粉 - 1 ~ 8	930℃ 渗层深度/mm					表面碳含量					
		钢种	渗碳时间/h					钢种	渗碳工艺/℃·h <sup>-1</sup>			
			1	2	3	4	5		920×2	920×10	930×3	950×5
		20	0.46	0.62	0.74	0.82	0.87	20	0.88	1.12	0.93	1.06
		20Cr MnTiA	0.60	0.99	1.14	1.20	1.41	20Cr MnTiA	0.92	1.18	0.98	1.10
每使用 8h 添加 1% ~ 3% 的碳粉。连续使用三天后, 添加 0.5% ~ 5.0% 的草酸混合盐												

①603 渗碳剂成分(质量分数)为: NaCl - 15%, KCl - 10%, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - 15%, (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO - 20%。

②渗碳剂成分(质量分数)为: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 木炭粉, SiC, 硼砂, 粘结剂 A 或 B, 辅助粘结剂 D(甲基纤维素)。

(6) 含 NaCN 的渗碳盐有剧毒, 在原料的保管、存放及工人操作等方面都要格外认真。残盐、废渣、废水的清理及排放都应按有关环保要求执行。

### (六) 固体渗碳

固体渗碳不需专门的渗碳设备, 但渗碳时间长, 渗层不易控制, 不能直接淬火。劳动条件也较差, 但可防止某些合金钢在渗碳过程中内氧化。

1. 渗碳剂 固体渗碳剂主要由供碳剂, 催化剂组成。供碳剂一般为木炭、焦炭, 催化剂一般是碳酸盐, 如 BaCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 等。也可采用醋酸钠, 醋酸钡等作催化剂。

固体渗碳剂加粘结剂可制成粒状渗碳剂，这种渗剂松散，渗碳时透气性好，有利于渗碳反应。

常用固体渗碳剂的组成见表 6-12。

表 6-12 几种常用固体渗碳剂

渗碳剂成分(质量分数)(%)	使用效果
BaCO <sub>3</sub> - 15, CaCO <sub>3</sub> - 5 木炭	920℃渗碳层深 1.0~1.5mm, 平均速 0.11mm/h 表面碳含量 1.0%, 新旧渗剂配比为 3:7
BaCO <sub>3</sub> - 3~5, 木炭	1) 20CrMnTi, 930℃ × 7h, 渗碳层深 1.33mm, 表面碳含量 1.07% C 2) 用于低合金钢时, 新旧渗剂比为 1:3; 用于低碳钢时, BaCO <sub>3</sub> 应增至 15%
BaCO <sub>3</sub> - 3~4, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - 0.3~1, 木炭	18Cr2Ni4WA 及 20Cr2Ni4A, 层深 1.3~1.9mm 时, 表面碳含量为 1.2%~1.5%, 用于 12CrNi3 时 BaCO <sub>3</sub> 需增至 5%~8%
醋酸钠 - 10, 焦炭 - 30~35, 木炭 - 55~60, 重油 2~3	由于含醋酸钠(或醋酸钡), 渗碳活性较高, 渗速较快, 但容易使表面碳含量过高。因含焦炭, 渗剂热强度高, 抗烧损性能好

2. 固体渗碳工艺 图 6-19 为两种典型的固体渗碳工艺。

填入渗碳剂的渗碳箱传热速度慢，图 6-19a 和图 6-19b 中透烧的目的是使渗碳箱内温度均匀，减少零件渗层深度的差别。透烧时间与渗碳箱的大小有关，建议参考表 6-13。图 6-19b 中扩散的目的是适当降低表面碳含量，使渗层适当加厚。

表 6-13 固体渗碳透烧时间

渗碳箱尺寸(直径×高)/mm	250×450	350×450	350×600	400×450
透烧时间/h	2.5~3	3.5~4	4~4.5	4.5~5

渗碳时间应根据渗碳层要求、渗剂成分、工件及装箱等具体情况确定。往往需要试验摸索。

渗碳剂的选择应根据具体情况定，要求表面碳含量高、渗层深，则选用活性高的渗剂；含碳化物形成元素的钢，则应选择活性低的渗剂。

3. 操作要点：

(1) 工件装箱前不得有氧化皮，油污，焊渣等。

(2) 渗碳箱一般采用低碳钢板或耐热钢板焊成。渗碳箱的容积一般为零件体积

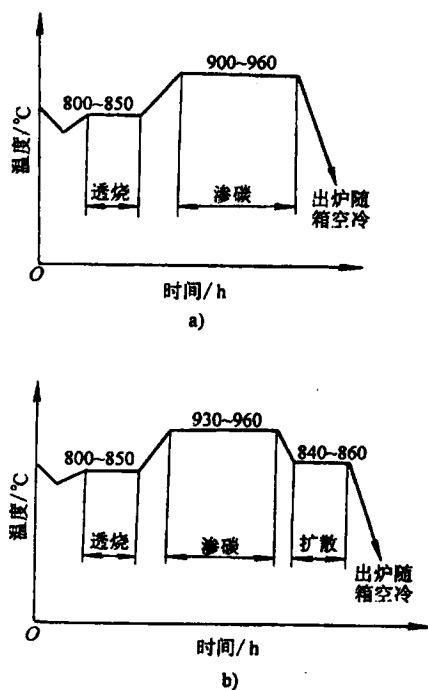


图 6-19 固体渗碳工艺  
a) 普通工艺 b) 分级渗碳工艺

的 3.5~7 倍。

(3) 工件装箱前, 应先在箱底辅放一层 30~40mm 厚的渗剂, 再将零件整齐地放入箱内。工件与箱壁之间, 工件与工件之间应间隔 15~25mm, 间隙处填上渗剂。工件应放置稳定, 放置完后用渗剂将空隙填满, 直至盖过工件顶端 30~50mm。装件完毕后盖上箱盖, 并且耐火泥密封。

(4) 多次使用渗剂时, 应用一部分新渗剂加一部分旧渗剂使用, 配制比例根据渗剂配方而定。

### (七) 真空渗碳

1. 真空渗碳的特点 与普通气体渗碳相比, 真空渗碳具有以下特点:

(1) 可以在较高的温度 (980~1100°C) 下进行。真空对工件表面有净化作用, 有利于碳原子在工件表面吸附, 因而真空渗碳可加速渗碳过程。

(2) 工件在真空条件下渗碳, 表面不脱碳, 不产生晶界氧化, 有利于提高零件的疲劳强度。



- (3) 可直接将甲烷、丙烷或天然气通入真空炉内渗碳，无需添置气体制备设备。
- (4) 对于有不通孔、深孔、狭缝的零件，或不锈钢、含硅钢等普通气体渗碳效果不好甚至难以渗碳的零件，真空渗碳都可以获得良好的渗碳层。
- (5) 真空渗碳的耗气量仅为普通渗碳的几分之一或十几分之一。
- (6) 对环境基本上无污染。
- (7) 真空渗碳的缺点是容易产生炭黑。

真空渗碳与普通气体渗碳的工艺参数对比见图 6-20。

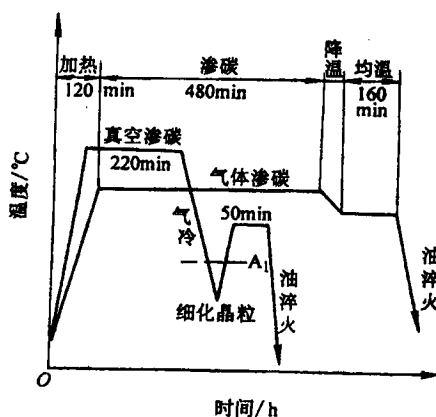


图 6-20 真空渗碳与普通气体渗碳工艺参数的比较

2. 真空渗碳工艺 真空渗碳一般是将甲烷、丙烷或天然气直接通入炉内，裂解后形成渗碳气氛。甲烷 1000℃ 以下裂解不充分，易产生炭黑。所以 1000℃ 以下渗碳常采用丙烷。真空渗碳时要获得良好的渗碳层，炉内富化气不仅要达到一定的含量，而且要求炉气达到一定的压力，1040℃ 下的碳势与甲烷含量，炉内压力之间的关系见图 6-21。采用甲烷作为富化气时，炉气压力一般要求  $2.67 \times 10^4 \sim 4.67 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。以丙烷作富化气时，炉气压力一般要求达到  $1.33 \times 10^4 \sim 2.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。对于有狭缝、不通孔的零件。为了保证缝内及孔内的渗层深度与其他部位一致，可采用脉冲供气的方法。

由于真空状态对零件表面产生的净化作用，活性碳原子在钢铁表面的吸附很快，碳传递系数 ( $\beta$ ) 较大。根据 Harris 关系式，渗层深度、渗碳时间之间可定量

表述为：
$$d = \frac{802.6}{10 \left( \frac{3720}{T} \right)} \sqrt{t}$$
， $T$ —渗碳温度 (K)， $t$ —渗碳时间 (h)。计算值与真空

渗碳时实测值基本一致，真空渗碳温度一般为 900 ~ 1100℃，温度越高，渗碳所需

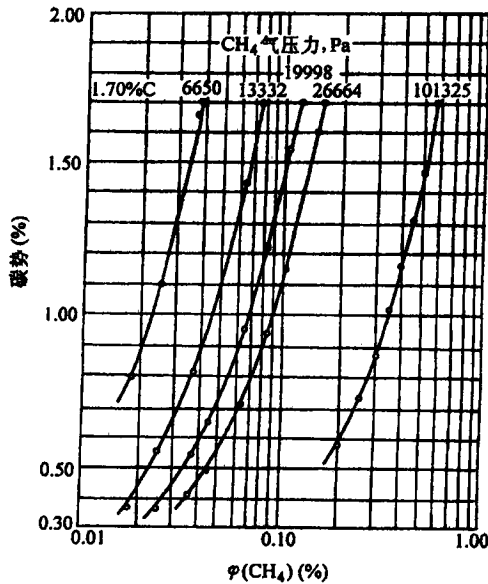


图 6-21 碳势与炉气压力

时间越短，但是工件变形量越大。对于畸变量要求不严格、形状不复杂、渗碳层较深的工件，可用 1040℃ 渗碳。一般情况采用 980℃ 渗碳。对于形状复杂、畸变量要求严格和渗层较浅的工件，则采用 980℃ 以下的温度渗碳。

为了提高渗速，可以采用强渗——扩散的方式渗碳。强渗时间 ( $t_c$ )、扩散时间 ( $t_d$ )，总渗碳时间 ( $t$ ) 之间的关系也可以按 Harris 公式表述：

$$t_c = t \left( \frac{c - c_i}{c_0 - c_i} \right), \quad t_d = t - t_c$$

式中  $c$ ——渗碳要求达到的表面碳含量；

$c_0$ ——强渗期结束时的表面含碳量；

$c_i$ ——心部含碳量。

高温真空渗碳过程中钢件心部晶粒长大，为了细化晶粒，可先将工件冷却到 F + Fe<sub>3</sub>C 区，再加热到淬火温度淬火。

图 6-22 为真空渗碳淬火工艺曲线。

真空渗碳的工件，进炉前同样应去除表面污垢，以免进炉后影响渗碳或在炉内产生碳黑。不能用镀锌铁丝捆绑工件，否则会使工件渗锌。工件间的距离可小于普通渗碳处理，但不能多层堆放。

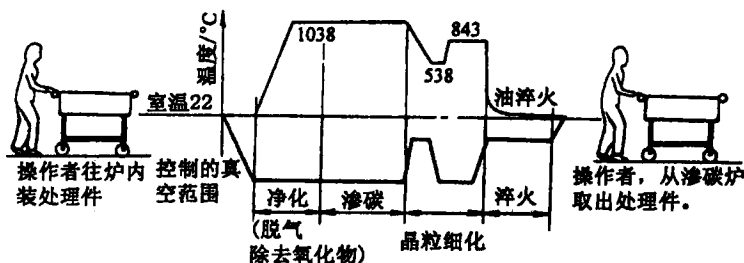


图 6-22 真空渗碳淬火工艺曲线

### (八) 流态床渗碳

1. 流态床渗碳的特点 近几年流态床渗碳发展很快，受到人们的广泛重视并获得应用。与气体渗碳相比流态床渗碳具有以下特点：

- (1) 加热速度和渗碳速度快，生产效率高。
- (2) 流动颗粒对工件表面的冲刷，工件表面不会积炭，可以进行高碳势渗碳。
- (3) 炉温均匀（温差 $\leq \pm 5^\circ\text{C}$ ），气氛均匀，渗层均匀。
- (4) 操作方便，渗碳后可直接淬火。
- (5) 换气速度快，可以进行多种工艺组合。

2. 常用流态床渗碳类型 流态床渗碳按流态床的类型可分为内燃式、电极式和外热式三种，如图 6-23 所示。

(1) 内燃式流态床渗碳，流动颗粒采用  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。流化气一般采用空气 + 碳氢化

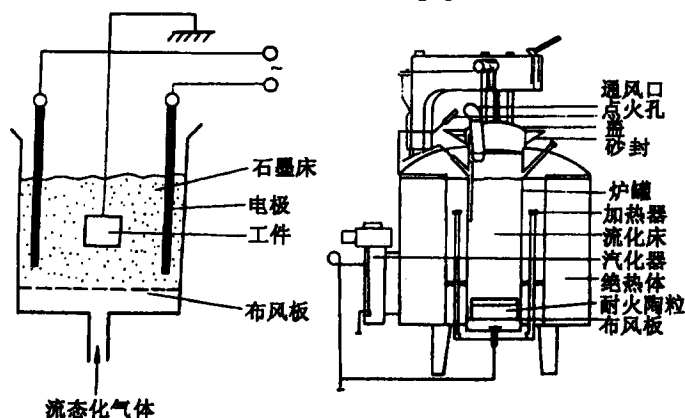


图 6-23 几种流态床渗碳简图

a) 内燃式 b) 电极式 c) 外热式

合物(如  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) 或天然气。除流化外同时兼作燃气和渗碳气体。流化气进入不完全燃烧, 剩余的  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  可作为渗碳气渗碳。采用空气 + 丙烷做流化气时, 空气: 丙烷 = 4:1 ~ 4.5:1。

(2) 电极式流态床渗碳, 电极式(又称石墨式)流态床, 流动颗粒采用石墨。石墨为导电物质, 可以使流态床导电。当两电极产生的电流通过流态床时, 石墨发热加热工件, 流化气采用空气, 空气中的氧气在渗碳温度下与石墨反应, 形成  $\text{C}-\text{CO}-\text{CO}_2$  渗碳气氛, 碳势与温度有关, 可表达为  $C_g = 7.26\ln T - 48.76$ 。

(3) 外热式流态床渗碳, 流动颗粒采用 0.180mm (80 目) 的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。流化气由氮气 + 富化气组成, 这类流态床渗碳工艺可控性较好。

3. 外热式流态床渗碳工艺及操作 外热式流态床渗碳采用氮气 + 富化气做为流化气, 如氮气—丙烷, 氮气—甲醇, 氮气—丙烷—空气等。流化气进入流态床,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  流态化的同时富化气在高温下裂解, 在炉内形成渗碳气氛。通过调整氮气与富化气的比例来调整碳势。气氛的碳势可以用氧探头间接测量。图 6-24 所示为采用氮气—丙烷—空气为流化气渗碳淬火后渗层的硬度。

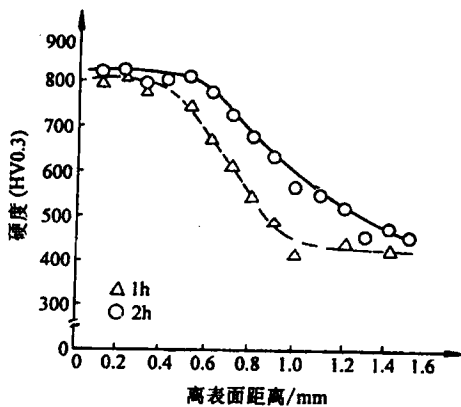


图 6-24 708A25 钢流态床渗碳淬火后的硬度分布  
(流化气: 氮气—丙烷—空气, 渗碳温度:  $970^{\circ}\text{C}$ ,  
渗淬火温度  $850^{\circ}\text{C}$ , 油冷。)

工件在流态床中渗碳表面不会沉积炭黑, 可采用高碳势渗碳。708A25 钢在流态床中高碳势渗碳后, 表面碳含量  $\omega(\text{C})$  可达 2.5%, 淬火后硬度分布见图 6-25。

流态床气氛转换速度非常快, 大约几分钟之内就可以完成碳势由零到控制点的

转换，而且重现性很好。基于这个特点，渗碳过程往往是由高碳热渗碳—低碳势扩散的多次循环组成，既可获得较理想的碳浓度梯度，又可获得较快的渗碳速度。

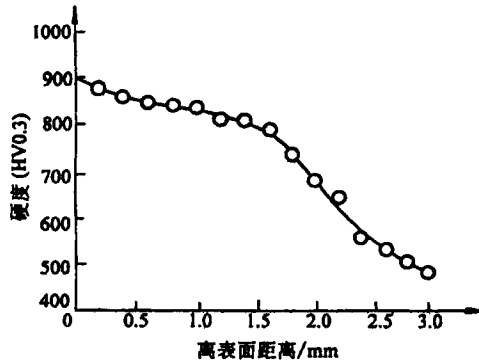


图 6-25 708A25 钢高碳势渗碳淬火后硬度分布  
(970℃ × 8h 渗碳, 850℃, 水淬)

有不通孔的零件装炉时应尽量使孔口向下。对不需要渗碳的部位可作防渗处理，如镀铜，涂敷防渗碳涂料等，但是所选择的防渗涂层应有一定的硬度和附着力，以免  $Al_2O_3$  颗粒的冲刷使涂层剥落或磨蚀。

### (九) 局部渗碳

有些零件，由于有特殊要求（如渗碳后需要焊接或进一步机加工等），只对某一部分或某一区域进行渗碳，这种渗碳工艺称为局部渗碳或局部防渗碳。常用的局部渗碳方法有三类：

- (1) 在非渗碳表面镀铜。
- (2) 在非渗碳表面涂覆防渗碳涂料。
- (3) 采用机加工方法将局部渗碳层去掉。

镀铜要致密。工件表面越粗糙，对镀铜层厚度要求越高，表面粗糙度值高于  $R_a.2\mu m$  时，镀铜层的厚度应大于 0.013mm。

防渗碳涂料除应具备防渗碳性能外，渗后涂层应易于清除。用于盐浴渗碳的防渗碳涂料，还要考虑涂料与盐浴之间的反应和相互作用 F。几种防渗碳涂料配方及使用方法见表 6-14。

机加工去除局部渗碳层的工序，应在淬火之前进行。这种方法一般仅限于特定情况和渗层深度小于 1.3mm 的工件。

## 第六章 化学热处理

表 6-14 常用防渗碳涂料

涂料配方(质量分数)	使用方法
氯化亚铜 2 份 } 铅 丹 1 分 } <sup>a</sup> 松 香 1 份 } 酒 精 2 份 } <sup>b</sup>	将 a、b 分别混合均匀后,用 b 将 a 调成糊状,用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
熟耐火砖粉 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
(200 目)玻璃粉 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℃ 烘干
硅砂 85% ~ 90%,硼砂 1.5% ~ 2.0%,滑石粉 10% ~ 15%	用水玻璃调匀后使用
铅丹 4%,氧化铝 8%,滑石粉 16%,水玻璃 72%	调匀后使用,涂敷两层,此剂适用于高温防渗碳

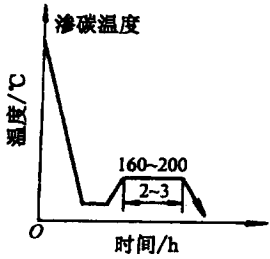
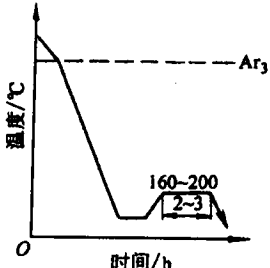
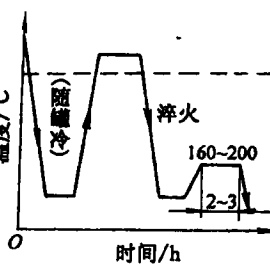
### 三、渗碳用钢及渗碳后的热处理

常用的渗碳钢有 Q195、Q215、Q235、08、10、15、20、25 碳钢, 15Mn、20Mn、25Mn、15Mn2、20Mn2、20MnV、20Cr15Cr、20CrV、20CrMn、20CrMnTi、30CrMnTi、20CrMo、20Mn2B、20MnTiB、20MnVB、20SiMnVB、20MnTiBRE 等。高合金铬镍钢 12CrNi3、20Cr2Ni4、18Cr2Ni4WA 等是高速重载渗碳齿轮用钢。由于渗碳后直接淬火时渗碳层中含有大量残留奥氏体,从经济角度考虑,应限制使用这类渗碳钢。

为使渗碳工件具有较高的力学性能,渗碳后应进行正确的热处理,以获得合适的组织结构。一般认为渗碳层的表层应有细针状或隐晶马氏体,碳化物呈细颗粒状弥散均匀分布,不得呈网状,渗层中残留奥氏体量应以允许范围之内。工件心部应为细晶粒组织,不允许有大块铁素体存在;工件畸变应当最小。

表 6-15 列出了渗碳件常用渗后热处理工艺及其适用范围。

表 6-15 渗碳件常用热处理工艺及适用范围

热处理工艺及曲线图	组织及性能特点	适用范围
<p>1. 直接淬火低温回火</p> 	<p>不能细化钢的晶粒。工件淬火畸变较大,合金钢渗碳件表面残留奥氏体量较多,表面硬度较低</p>	<p>操作简单,成本低廉,用于处理变形和承受冲击载荷不大的零件,适用于气体渗碳及液体渗碳工艺</p>
<p>2. 预冷直接淬火低温回火,淬火温度 800~850°C</p> 	<p>可以减少工件淬火畸变,渗碳层中残留奥氏体量也可稍有降低,表面硬度略有提高,但奥氏体晶粒没有变化</p>	<p>操作简单,工件氧化、脱碳及淬火变形均较小。广泛用于细晶粒钢制造的各种工件</p>
<p>3. 一次加热淬火,低温回火渗碳温度 820~850°C或 780~810°C</p> 	<p>对心部强度要求高者,采用 820~850°C 淬火,心部组织为低碳马氏体;表面要求硬度高者,采用 780~810°C 加热淬火可以细化晶粒</p>	<p>适用于固体渗碳后的碳钢和低合金钢工件。气体、液体渗碳后的粗晶粒钢,某些渗碳后不宜直接淬火的工件及渗碳后需机械加工的零件</p>

## 第六章 化学热处理

热处理工艺及曲线图	组织及性能特点	适用范围
<p>4. 渗碳、高温回火和一次加热淬火、低温回火 渗碳温度 840~860℃</p>	<p>高温回火使马氏体和残留奥氏体分解, 渗层中碳和合金元素以碳化物形式析出, 便于切削加工及淬火后渗层残留奥氏体减少</p>	<p>主要用于 Cr-Ni 合金钢渗碳工件</p>
<p>5. 二次淬火、低温回火</p>	<p>第一次淬火(或正火)可以消除渗层网状碳化物及细化心部组织。第二次淬火主要改善渗层组织, 但对心部性能要求较高时应在心部 <math>Ac_3</math> 以上淬火</p>	<p>主要用于对力学性能要求很高的重要渗碳工件, 特别是对粗晶粒钢。但在渗碳后需进行两次高温加热, 使工件变形及氧化脱碳增加, 热处理过程较复杂</p>
<p>6. 二次淬火冷处理低温回火</p>	<p>高于 <math>Ac_1</math> 或 <math>Ac_3</math> (心部) 的温度淬火, 高合金钢表层残留奥氏体较多, 经冷处理(-70~80℃)促使奥氏体转变, 从而拉高表面硬度和耐磨性</p>	<p>主要用于渗碳后不需要机械加工的高合金钢工件</p>
<p>7. 渗碳后感应淬火低温回火</p>	<p>可以细化渗层及靠近渗层处的组织。淬火畸变小, 不允许硬化的部位(如齿轮轴孔, 轮辐上的螺纹孔等), 不需预先防渗</p>	<p>各种齿轮及轴类件</p>



## 四、渗碳层的组织和性能

### (一) 渗碳层的组织

根据表面碳含量、钢中合金元素及淬火温度，渗碳层的淬火组织大致可以分为两类。一类是表面无碳化物，自表面至中心，依次由高碳马氏体加残留奥氏体逐渐过渡到低碳马氏体。图 6-26 为碳钢渗碳淬火后渗碳层的碳含量分布、渗层残留奥氏体量及硬度分布示意图。另一类在表层有细小颗粒状碳化物，自表面至中心渗碳层淬火组织依次为：细小针状马氏体 + 少量残留奥氏体 + 细小颗粒状碳化物 → 高碳马氏体 + 残留奥氏体 → 逐步过渡到低碳马氏体。图 6-27 为 20CrMnTi 钢 920℃ 渗碳 6h 直接淬火后渗层奥氏体中碳含量、残留奥氏体量及硬度沿层深分布曲线。细小颗粒状碳化物出现，使表面奥氏体合金元素含量减少，残留奥氏体较少，硬度较高。在与之邻接的无碳化物处，奥氏体合金元素含量较高，残留奥氏体较多，硬度出现谷值。

### (二) 渗碳层的性能

渗碳层的性能，决定于表面碳含量及分布梯度和淬火后的渗层组织。一般希望渗层碳分布梯度平缓，表面碳含量应控制在  $w(C)$  0.9% 左右。通常认为残留奥氏体含量小于  $\varphi(A)$  15%。但由于残留奥氏体较软，塑性较高，借助微区域的塑性变形，可以弛豫局部应力，延缓裂纹的扩展，渗碳层中有  $\varphi(A)$  25% ~ 30% 的残留奥氏体，反而有利于提高接触疲劳强度。表面粒状碳化物增多，将提高表面耐磨性及接触疲劳强度。碳化物数量过多，特别是呈粗大网状或条块状时，将使冲击韧度、疲劳强度等性能变坏，应加以限制。

### (三) 渗碳件的性能

心部组织对渗碳件性能有重大影响，合适的心部组织应为低碳马氏体，但零件尺寸较大，钢的淬透性较差时，允许心部组织为托氏体或索氏体，但不允许有大块状或过量的铁素体。

在工件截面尺寸不变的情况下，随着渗层深度的减小，表面残留压应力增大，有利于弯曲疲劳强度的提高。但压应力的增大有极限值，渗层过薄时，由于表层马氏体的体积效应有限，表面压应力反会减小。