

证书号第 1008675 号



发明专利证书

发明名称：低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法

发明人：潘健生；钱初钧；沈玉明；顾剑锋；孔铭

专利号：ZL 2010 1 0571511.0

专利申请日：2010 年 12 月 03 日

专利权人：上海交通大学；上海汽车变速器有限公司

授权公告日：2012 年 07 月 18 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 12 月 03 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

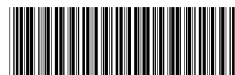
专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长

田力普





(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102063110 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 201010571511. 0

CN 1560317 A, 2005. 01. 05, 全文.

(22) 申请日 2010. 12. 03

JP 2002173759 A, 2002. 06. 21, 全文.

(73) 专利权人 上海交通大学

审查员 宋淑鹏

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

专利权人 上海汽车变速器有限公司

(72) 发明人 潘健生 钱初钧 沈玉明 顾剑锋
孔铭

(74) 专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王锡麟 王桂忠

(51) Int. Cl.

G05B 19/418(2006. 01)

G23C 8/20(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1560318 A, 2005. 01. 05, 全文.

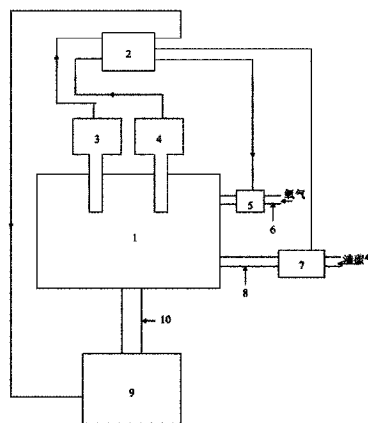
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 3 页

(54) 发明名称

低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法

(57) 摘要

一种金属热处理技术领域的低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法, 该系统包括: 低压渗碳炉、控制器、压力传感器、热电偶、氮气调节阀、氮气输入管、渗碳气体调节阀、渗碳气体输入管、真空系统和抽气管, 本发明具有用渗层浓度分布数值模拟自动优化低压脉冲工艺参数并实现控制的功能, 渗碳气体调节阀根据控制器的指令执行通 / 断动作控制渗碳段时间和扩散段时间, 实现渗层浓度分布的正确控制。能在保持高的渗碳速度的同时, 避免表层碳化物超差, 准确控制表面碳浓度, 渗层深度和浓度分布, 减少炉内积聚碳黑。并摆脱了对气体成分传感器的依赖, 具有配置简化、易于实施、可靠性高、易于维护的优点。



1. 一种低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统,其特征在于,包括:低压渗碳炉、控制模块、压力传感器、热电偶、氮气调节阀、氮气输入管、渗碳气体调节阀、渗碳气体输入管、真空系统和抽气管,其中:压力传感器与低压渗碳炉的炉膛相连,压力传感器的信号输出端与控制模块的数据采集单元相连接并传输低压渗碳炉炉内压力信息,热电偶的热端置于低压渗碳炉炉膛内,热电偶的冷端与控制模块的数据采集单元相连接并传输炉内温度的信息,氮气输入管通向低压渗碳炉膛,氮气调节阀设置于氮气输入管上并与控制模块的调节控制单元连接并接收控制指令,渗碳气体输入管通向低压渗碳炉的炉膛,渗碳气体调节阀设置于渗碳气体输入管上并与控制模块的调节控制单元连接并接收控制指令,抽气管的两端分别与真空系统和低压渗碳炉的炉膛相连,真空系统的信号接收端与控制模块的调节控制单元连接并接收启动指令。

2. 根据权利要求1所述的低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统,其特征是,所述的控制模块包括:数据输入与存贮单元、数据采集单元、数值模拟单元和调节控制单元,其中:数据采集单元与调节控制单元连接并传递低压渗碳炉炉膛内压力变化信息和温度变化信息,数据输入及存贮单元与数值模拟单元相连接并传递材料特性数据和渗碳工件的设计指标,数据模拟单元与调节控制单元连接并传输优化控制参数,调节控制单元分别与低压脉冲渗碳炉、渗碳气体调节阀、氮气调节阀以及真空系统相连接并传输控制指令信息。

3. 根据权利要求2所述的低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统,其特征是,所述的数据输入与存贮单元中设有低压脉冲渗碳的物质传递系数 β 、渗碳钢的扩散系数 D 、饱和碳浓度 $C_{\text{饱}}$ 、允许的表面碳浓度最高值 C_{smax} 的上、下限、工件最终表面含碳量 C_{SD} 的上、下限、渗碳层总深度 $\delta_{\text{设}}$ 的上、下限、 $\delta_{\text{设}}$ 所对应的碳浓度 C_{δ} 、渗碳段最短时间 $t_{\text{渗min}}$ 、渗碳段最长时间 $t_{\text{渗max}}$ 以及扩散段最短时间 $t_{\text{扩min}}$ 。

4. 一种根据上述任一权利要求所述系统的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

第一步、首先向数据存贮单元输入材料特性数据和渗碳炉的特性数据,并在工件装炉后输入本系统的启动指令;

第二步、数据模拟单元用特性数据进行渗碳层的瞬态碳浓度场的数值模拟,并根据数值模拟结果设定优化低压脉冲渗碳工艺参数,并传输到调节控制单元;

第三步、数据采集单元采集压力传感器的讯号和热电偶的讯号,转换为炉压和温度化的信息,将其传输到调节控制单元;

第四步、调节控制单元将炉内压力和温度的数据与设定的工艺参数对比,从而作出调节决策,将控制指令传输到真空系统、渗碳气体调节阀和氮气调节阀。

5. 根据权利要求4所述的控制方法,其特征是,所述的第一步具体包括以下步骤:

1.1) 低压渗碳炉装炉后,由控制模块发出指令,启动真空系统使低压渗碳炉炉膛压力降至 1.33mbar 以下,待炉温升至渗碳温度并保温使工件温度均匀之后开始进行低压脉冲渗碳的控制;

1.2) 在每一个脉冲周期内分为渗碳段和扩散段,第 i 个脉冲周期的渗碳段时间用 $t_{\text{渗}i}$ 表示,扩散段时间用 $t_{\text{扩}i}$ 表示,在每一个渗碳段由控制模块发出指令至渗碳气体调节阀向低压渗碳炉通入渗碳气体或者同时由控制模块发出指令至氮气调节阀并同时向低压渗碳炉通入氮气,低压渗碳炉的压力在渗碳段控制在 50mbar 至 300mbar 之间。

6. 根据权利要求4所述的控制方法,其特征是,所述的特性数据包括:渗碳钢的扩散系

数 D , 饱和碳浓度 $C_{\text{饱和}}$, 低压脉冲渗碳的物质传递系数 β 、渗碳段最短时间 $t_{\text{渗 min}}$, 渗碳段最长时间 $t_{\text{渗 max}}$, 扩散段最短时间 $t_{\text{扩 min}}$, 允许的表面碳浓度最高设定值 C_{max} 的上、下限、工件最终表面含碳量 C_{SD} 的上、下限, 渗碳层深度 $\sigma_{\text{设}}$ 的上、下限数据。

7. 根据权利要求 4 所述的控制方法, 其特征是, 所述的扩散段具体通过控制模块发出指令至渗碳气体调节阀以停止向低压渗碳炉通入渗碳气体通入量为零得以实现, 在各个扩散阶段中低压渗碳炉的炉压降低至 10mbar 至 100mbar 之间。

低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种金属热处理技术领域的控制装置及控制方法,具体是一种低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法。

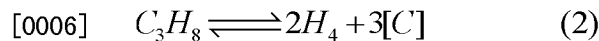
背景技术

[0002] 低压渗碳亦称真空渗碳是低于大气压力下的渗碳气氛中进行的渗碳过程,是通过碳氢化合物气体在钢表面分解和吸收而进行。

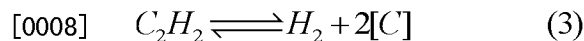
[0003] 当采用甲烷时发生的渗碳反应为:



[0005] 当采用丙烷时发生的渗碳反应为:



[0007] 当采用乙烷时发生的渗碳反应为:



[0009] 经过对现有技术的检索发现,文献 [1] 《易普森 Avac 乙炔低压渗碳工艺设备及其工业应用上》易普森工业炉上海有限公司 朱汗平 刘晔东《机械工人》2003 年第 9 期 P. 55) 和文献 [2] (《乙炔真空渗碳 Avac 及其应用》王丽莲 朱祖昌《热处理》2003, Vol. 18, No. 1 P. 9) 所报道的 Avac 乙炔低压渗碳是易普森公司在 20 世纪 90 年代中期开发的一种新的低压渗碳工艺,其目的在于克服丙烷低压渗碳所存在的缺点。目前这一技术已在世界范围内申请了专利,如欧洲专利文献号 EP0882811B1、EP0818555B1 以及美国专利文献号 US5702540,它能在一定程度上,克服用丙烷进行低压渗碳时的一些难题。乙炔可以在 10-100mbar 压力下渗碳,可以明显地减少碳黑的形成,但并非无碳黑形成,按 3 式平衡条件热力学计算结果表明,乙炔有强的渗碳能力,但存在低压渗碳炉内产生碳黑和焦油的热力学条件。生产实践的经验也证明了这一结论。

[0010] 目前低压渗碳普遍采用间隙式通入渗碳气体的方法,也称为低压脉冲渗碳法,将渗碳分为渗碳段和扩散段,二者交替进行。在渗碳段内向炉内通入渗碳气体,并使炉内压力保持在低压渗碳工艺规定的压力 $P_{\text{渗}}$, $P_{\text{渗}}$ 的值与所用的渗碳设备和渗碳气体有关,一般在 20 ~ 200mbar 之间。渗碳气体的种类分别有甲烷、丙烷、乙炔、乙烯等碳氢化合物或它们与氮的混合气体。在扩散段内用真空泵将炉内气体抽除,以减少炉膛中积存碳黑,扩散时间段炉内压力为 $P_{\text{扩}}$, $P_{\text{扩}}$ 的数值视所用的设备而异,一般为 10 ~ 100mbar。低压脉冲渗碳的难点在于每个渗碳段时间和每个扩散段的时间如何正确设定,因为只有正确设定每一个渗碳段和每一个扩散段的时间才能够正确控制碳浓度分布曲线,并最大限度减少碳黑。

[0011] 为此就需要在计算渗碳段和扩散段渗层浓度分布的变化的基础上确定每一个渗碳段时间和每一个扩散段的时间,早年 J. I. Goldstein and A. E. Moren 在文献 [3] (《渗碳的扩散模型》METALLURGICAL TRANSACTIONS A VOL. 9A 1978, 1515-1525) 所报道的计算真空渗碳的渗层浓度分布方法是,设定 $C_s \equiv C_{\text{饱和}}$, 采用第一类边界条件求解扩散偏微分方程,但这就必须假定界面反应的物质传递系数为无限大,即认为表面碳流量是一个极大的数值。

[0012] 然而文献 [1] 易普森工业炉上海有限公司朱汗平等在《机械工人》2003 年第 9 期发表的论文中列出的试验结果表明用不同气体进行低压渗碳表面碳流量都是有限值, 乙炔的碳流量近似 $150\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 甲烷碳流量为 $2\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 丙烷和乙烷碳流量分别为 $120\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $130\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 这样有关在渗碳段一开始工件表面含碳量就达到饱和的观点就此被否定了。因此采用 Goldstein 的方法不可能正确控制低压脉冲渗碳的渗层碳浓度分布曲线。易普森公司已投放市场的低压脉冲渗碳设备配置了计算机控制系统, 其特点是按照渗碳层浓度分布数值模拟所确定的各个渗碳时间和扩散段时间工艺参数自动进行低压脉冲渗碳过程的控制。经过对现有技术的检索发现, 文献 [1] 报道易普森公司是采用平均表面碳流量来计算渗层浓度分布, 作为确定低压脉冲渗碳工艺的依据, 该文提出“碳氢化合物气体在低压渗碳时, 碳的传输特性可以通过采用经很短时间的强渗之后, 即停止低压渗碳并未经任何扩散过程的淬火试样而得到很好的研究”。该文是用短时间渗碳测定碳流量作为“平均碳流量”。但应指出: 实际上在渗碳件的表面碳流量是时间的函数。所以该文献采用平均碳流量求解扩散偏微分方程存在以下两个缺点: ①以平均碳流量为边界条件不符合实际情况, 所以用这种方法得出的工艺规程无法达到正确控制渗碳层浓度分布的目的; ②“平均碳流量”是钢的成分、渗碳温度和渗碳时间三个变量的函数。对于每一种待处理的渗碳零件, 需要用实验方法来求得平均碳流量的数据, 工作量很大。

[0013] 文献 [4] 日本发明专利 JP2002-173759 报道了一种真空渗碳的碳势控制系统, 其特点是在控制系统中配置了压力计和氢检测仪, 计算机根据压力计测得的炉压与氢检测仪测得的氢分压计算碳势并反馈控制渗碳气体的添加量, 该技术采用氢检测仪之主要结构是利用一支陶瓷管, 在端点焊接一片薄膜 proton 质子作为氢气探测头, 陶瓷管中间通入标准氢气, 外面则接触炉气, 利用二侧氢分压的不同, 产生一个电位差, 可以根据电位差的值换算出氢气的分压。

[0014] 文献 [5] 陈明志杨景峰应用于低压渗碳热处理炉的动态控制, 中国发明专利, 申请号: 200410016370.0, 授权公告号: 1302146C 正确指出文献 [4] 的真空渗碳控制系统存在的缺陷。在实际渗碳时, 很容易在探头上形成一层煤灰, 严重影响氢分压的测量精度, 且在真空渗碳时, 并没有足够的炉气可以烧掉煤灰, 所以该结构的设计并不适合。文献 [5] 提出了一种同时配备派尼拉真空计和薄膜式真空计的低压脉冲渗碳的计算机控制系统。在渗碳段刚开始通入渗碳气体时, 派尼拉真空计的读数与薄膜式真空计的读数出现差值, 并二者的差值随着渗碳段时间的延长而逐步减少, 该文认为当计算机读得的二种真空计的差值之比为一定时, 即可作为渗碳段的结束的判据, 并发出指令停止渗碳气体的输入, 自动实现由渗碳段转入到扩散段。文献 [5] 所提出的低压脉冲渗碳控制系统存在以下明显的缺陷: ①派尼拉真空计实质上是热导式测量仪, 其本身有明显滞后现象, 它与薄膜真空差值并非反映渗碳过程变化; ②派尼拉真空计与薄膜式真空计之差值只能反映 C_2H_2 与 H_2 之比, 并未能反映工件表面 %C。在真空渗碳炉内 C_2H_2 分解反应不断进行, 且除工件表面之外, 石墨纤维表面都起到触媒作用, 也会使 C_2H_2 分解, 文献 [5] 以为二者差值之比为一定时作为渗碳段结束的判据是错误的; ③文献 [5] 只提及自动控制渗碳段时间的技术措施, 但未披露扩散时间是如何控制的。总之现有的低压脉冲渗碳技术难以实现渗碳层碳浓度分布的控制。

发明内容

[0015] 本发明针对现有技术存在的上述不足,提供一种低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统及其控制方法,具有易于实施、高度可靠、易维护、低成本等优点,控制系统配置简单,可靠性高易于维护和准确实现脉冲低压渗碳层浓度分布控制的优点。

[0016] 本发明是通过以下技术方案实现:

[0017] 本发明涉及一种低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统,包括:低压渗碳炉、控制器、压力传感器、热电偶、氮气调节阀、氮气输入管、渗碳气体调节阀、渗碳气体输入管、真空系统和抽气管,其中:压力传感器与低压渗碳炉的炉膛相连,压力传感器的信号输出端与控制器的数据采集单元相连接并传输低压渗碳炉炉内压力信息,热电偶的热端置于低压渗碳炉炉膛内,热电偶的冷端与控制器的数据采集单元相连接并传输炉内温度的信息,氮气输入管通向低压渗碳炉膛,氮气调节阀设置于氮气输入管上并与控制器的调节控制单元连接接收控制指令,渗碳气体输入管通向低压渗碳炉的炉膛,渗碳气体调节阀设置于渗碳气体输入管上并与控制器的调节控制单元连接接收控制指令,抽气管的两端分别与真空系统和低压渗碳炉的炉膛相连,真空系统的信号接收端与控制器的调节控制单元连接并接收启动指令。

[0018] 所述的压力传感器、控制模块、真空系统与氮气调节阀构成低压渗碳炉炉膛压力调节控制回路。

[0019] 所述的控制器包括:数据输入与存贮单元、数据采集单元、数值模拟单元和调节控制单元,其中:数据采集单元与调节控制单元连接传递低压渗碳炉炉膛内压力变化信息和温度变化信息,数据输入及存贮单元与数值模拟单元相连接传递材料特性数据和渗碳工件的设计指标,数据模拟单元与调节控制单元连接传输优化控制参数,调节控制单元分别与低压脉冲渗碳炉、渗碳气体调节阀、氮气调节阀以及真空系统相连接并传输控制指令信息。

[0020] 所述的数据输入与存贮单元中设有低压脉冲渗碳的物质传递系数 β 、渗碳钢的扩散系数 D 、饱和碳浓度 $C_{\text{饱}}$ 、允许的表面碳浓度最高值 C_{Smax} 的上、下限、工件最终表面含碳量 C_{SD} 的上、下限、渗碳层总深度 $\delta_{\text{设}}$ 的上、下限、 $\delta_{\text{设}}$ 所对应的碳浓度 C_{δ} 、渗碳段最短时间 $t_{\text{渗 min}}$ 、渗碳段最长时间 $t_{\text{渗 max}}$ 以及扩散段最短时间 $t_{\text{扩 min}}$,其中: D 、 β 、 $C_{\text{饱}}$ 与渗碳钢钢种有关且为温度的函数, C_{Smax} 的上、下限, C_{SD} 的上、下限, $\delta_{\text{设}}$ 的上、下限, C_{δ} 由工件的技术条件所规定, $t_{\text{渗 min}}$ 、 $t_{\text{渗 max}}$ 、 $t_{\text{扩 min}}$ 是由所使用的低压渗碳炉的特性所限定,上述各系数的具体数据由首先输到数据输入与存贮单元中。

[0021] 本发明涉及上述控制系统的控制方法,包括以下步骤:

[0022] 第一步、首先向数据存贮单元输入材料特性数据和渗碳炉的特性数据,并在工件装炉后输入本系统的启动指令,具体步骤包括:

[0023] 1.1) 低压渗碳炉装炉后,由控制器发出指令,启动真空系统使低压渗碳炉炉膛压力降至 1.33mbar 以下,待炉温升至渗碳温度并保温使工件温度均匀之后开始进行低压脉冲渗碳的控制;

[0024] 1.2) 在每一个脉冲周期内分为渗碳段和扩散段,第 i 个脉冲周期的渗碳段时间用 $t_{\text{渗 } i}$ 表示,扩散段时间用 $t_{\text{扩 } i}$ 表示,在每一个渗碳段由控制器发出指令至渗碳气体调节阀向低压渗碳炉通入渗碳气体或者同时由控制模块发出指令至氮气调节阀并同时向低压渗碳炉通入氮气,低压渗碳炉的压力在渗碳段控制在 50mbar 至 300mbar 之间。

[0025] 所述的特性数据包括:钢的扩散系数 D ,饱和碳浓度 $C_{\text{饱和}}$,低压脉冲渗碳的物质传

递系数、渗碳段最短时间 $t_{\text{渗 min}}$, 渗碳段最长时间 $t_{\text{渗 max}}$, 扩散最短 $t_{\text{扩 min}}$, 允许的表面碳浓度最高设定值 C_{max} 的上、下限、工件最终表面含碳量 C_{SD} 的上、下限, 渗碳层深度 $\sigma_{\text{设}}$ 的上、下限等数据。

[0026] 所述的扩散段具体通过控制模块发出指令至渗碳气体调节阀以停止向低压渗碳炉通入渗碳气体通入量为零得以实现, 在各个扩散阶段中低压渗碳炉的炉压降低至 10mbar 至 100mbar 之间。

[0027] 第二步、数据模拟单元用特性数据进行渗碳层的瞬态碳浓度场的数值模拟, 所述的渗碳段时间 $t_{\text{渗 i}}$ 和扩散段时间 $t_{\text{扩 i}}$ 最优化的判据是每一个脉冲周期的渗碳段结束时工件的表面碳浓度 C_s 落在 C_{smax} 范围之内, 并应符合 $t_{\text{渗 min}} \leq t_{\text{渗 i}} \leq t_{\text{渗 max}}, t_{\text{扩 i}} \geq t_{\text{扩 min}}$ 。

在每一个渗碳段期内, 令气相碳势 $C_g = C_{\text{饱}}$, 按边界条件 $\beta(C_g - C_s) = -D \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0}$ 计算工件渗碳

层碳浓度分布、表面碳浓度随着时间而变化情况, 在每一个扩散段时间内, 令工件表面碳流量 $J = 0$, 按边界条件 $\frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0$ 计算工件渗碳层碳浓度分布, 从而得出碳浓度分布曲线及表面

碳浓度随时间而变化的数据。控制器对渗碳段的计算和扩散段的计算交替进行, 依次逐一计算出各个脉冲周期内的渗碳层的渗层碳浓度分布及表面碳浓度 C_s 随时间而变化的情况, 从而对整个低压脉冲渗碳过程进行优化和控制:

[0028] 第一个脉冲周期渗碳段的调节控制

[0029] 控制器用 $t_{\text{渗 1}} = t_{\text{渗 max}}$ 为初始值, 计算出第 1 个渗碳段 $t_{\text{渗 1}}$ 结束时刻的 C_{s1} , 若 $C_{s1} \leq C_{\text{smax}}$ 则以 $t_{\text{渗 1}} = t_{\text{渗 max}}$ 作为控制设定值, 若 $C_{s1} > C_{\text{smax}}$ 则逐渐缩短 $t_{\text{渗 1}}$ 重新计算, 直至找到能使第一个渗碳段结束时刻 $C_{s1} = C_{\text{smax}}$ 的 $t_{\text{渗 1}}$ 作为控制设定值, 控制器向渗碳气体调节阀 7 发出指令, 在 $t = 0$ 至 $t = t_{\text{渗 1}}$ 期间向低压脉冲渗碳炉通入渗碳气体。

[0030] 对各个中间脉冲周期的判断及其控制方法如下:

[0031] 控制器以 $t_{\text{渗 i}}$ 结束时刻的碳浓度分布曲线为初始值, 计算在 $t_{\text{渗 i}}$ 结束之后的扩散过程中渗层碳浓度分布, 根据 C_s 及 δ 随时间而变化的数据自动作出调节决策, 如果 C_s 下降至 $C_{s\text{设}}$ 的下限, 而 δ 尚未达到 $\delta_{\text{设}}$ 的下限, 则判定第 i 个脉冲周期是中间脉冲周期, 该周期的扩散段属过程中间的扩散段简称中间扩散段 (下同), 反之如果 C_s 降低到 $C_{s\text{设}}$ 的下限之前, δ 已达到 $\delta_{\text{设}}$ 的下限, 则判定第 i 脉冲周期是最后一个周期, 第 i 扩散段是最终扩散段。除了 $i = 1$ 的第一个脉冲周期, 以及最后一个脉冲周期之外, 将第 i 个脉冲周期的扩散段时间 $t_{\text{扩 (i)}}$ 与下一个脉冲周期的渗碳段时间 $t_{\text{渗 (i+1)}}$ 作为一对组合进行优化控制, 通过数值模拟求得一组 $t_{\text{扩 (i)}}, t_{\text{渗 (i+1)}}$ 的数据组合使得 $t_{\text{渗 (i+1)}}$ 结束时刻 $C_{s(i+1)}$ 落在 C_{smax} 范围内, 就以这一组 $t_{\text{扩 (i)}}, t_{\text{渗 (i+1)}}$ 作为控制设定值, 具体实现方式:

[0032] 给出一组 $t_{\text{扩 (i)}}$ 和 $t_{\text{渗 (i+1)}}$ 的初始值, 以 $t_{\text{渗 i}}$ 结束时刻的渗层碳浓度分布为初始条件, 通过数值模拟依次计算 $t_{\text{扩 i}}$ 期间和 $t_{\text{渗 i+1}}$ 期间渗层碳浓度分布和 C_s , 如果在 $t_{\text{渗 i+1}}$ 结束时刻 $C_s > C_{\text{smax}}$ 则延长 $t_{\text{扩 i}}$ 或缩短 $t_{\text{渗 i+1}}$ 重新计算, 若在 $t_{\text{渗 i+1}}$ 结束时刻 $C_s < C_{\text{smax}}$ 则缩短 $t_{\text{扩 i}}$ 或延长 $t_{\text{渗 i+1}}$ 重新计算, 直至获得能使在 $t_{\text{渗 i+1}}$ 结束时刻, $C_s = C_{\text{smax}}$ 的 $t_{\text{扩 (i)}}, t_{\text{渗 (i+1)}}$ 的数据组合, 就将这一组合作为控制是设定值, 如果 $t_{\text{扩 i}} = t_{\text{扩 min}}$ 并且 $t_{\text{渗 i+1}} = t_{\text{渗 max}}$, 在 $t_{\text{渗 i+1}}$ 结束时刻, $C_{s1} < C_{\text{smax}}$, 则以 $t_{\text{扩 i}} = t_{\text{扩 min}}$ 和 $t_{\text{渗 i+1}} = t_{\text{渗 max}}$ 为控制设定值。在自动求出了 $t_{\text{扩 i}}$ 和 $t_{\text{渗 i+1}}$ 的设定值之后由控制器向渗碳气体调节阀 7 发出指令, 在 $t_{\text{扩 i}}$ 期间内停止

向低压渗碳炉 1 通入渗碳气体,在 $t_{\text{渗}i+1}$ 期间内向低压渗碳炉 1 通入渗碳气体,用同样的方法,从 $i = 1$ 开始,依次逐一对每个 $t_{\text{扩}(i)}$ 和 $t_{\text{渗}(i+1)}$ 实现优化控制。

[0033] 最后一个脉冲周期的扩散段控制:当控制器判断出第 i 扩散段为最终扩散段的情况下,则以能够同时满足 $C_s = C_{s\text{设}}$ 和 $\delta_s = \delta_{\text{设}}$ 的时间作为低压脉冲渗碳过程完成的设定值 $t_{\text{终}}$,当时间达到 $t_{\text{终}}$ 时,控制器向真空系统发出指令,停止抽气。同时向氮气调节阀 5 发出加大氮气通入量指令,并发出整个低压脉冲渗碳过程已完成的讯号。工件出炉或淬火操作则与一般的低压渗碳炉的出炉或淬火操作相同。

[0034] 为了使渗碳的结果更接近于工件技术指标的中限,控制器按 $t_{\text{终}} = \frac{t_{\text{CD}} + t_{\text{SD}}}{2}$ 确定 $t_{\text{终}}$ 的设定值,其中 t_{CD} 表示在最后一个扩散段中 C_s 达到 $C_{s\text{设}}$ 中限的时间, t_{SD} 是最后一个扩散段中 δ 达到 $\delta_{\text{设}}$ 的中限的时间。并根据数值模拟结果设定优化低压脉冲渗碳工艺参数,并传输到调节控制单元。

[0035] 第三步、数据采集单元采集压力传感器的讯号和热电偶的讯号,转换为炉压和温度化的信息,将其传输到调节控制单元。

[0036] 第四步、调节控制单元将炉内压力和温度的数据与设定的工艺参数对比,从而作出调节决策,将控制指令传输到真空系统,渗碳气体调节阀和氮气调节阀。

[0037] 所述的渗碳段时间 $t_{\text{渗}i}$ 和扩散段时间 $t_{\text{扩}i}$ 最优化的判据是每一个脉冲周期的渗碳段结束时刻工件的表面碳浓度 C_s 落在 $C_{s\text{max}}$ 范围之内,并应符合 $t_{\text{渗}i\text{min}} \leq t_{\text{渗}i} \leq t_{\text{渗}i\text{max}}$, $t_{\text{扩}i} \geq t_{\text{扩}i\text{min}}$ 。

在每一个渗碳段期内,令气相碳势 $C_g = C_{\text{饱}}$,按边界条件 $\beta(C_g - C_s) = -D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0}$ 计算工件渗碳层碳浓度分布、表面碳浓度随着时间而变化情况,在每一个扩散段时间内,令工件表面碳流量 $J = 0$,按边界条件 $\frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0$ 计算工件渗碳层碳浓度分布,从而得出碳浓度分布曲线及表面碳浓度随时间而变化的数据。控制器对渗碳段的计算和扩散段的计算交替进行,依次逐一计算出各个脉冲周期内的渗碳层的渗层碳浓度分布及表面碳浓度 C_s 随时间而变化的情况,从而对整个低压脉冲渗碳过程进行优化和控制:

[0038] 第一个脉冲周期渗碳段的调节控制

[0039] 控制器用 $t_{\text{渗}1} = t_{\text{渗}i\text{max}}$ 为初始值,计算出第 1 个渗碳段 $t_{\text{渗}1}$ 结束时刻的 C_{s1} ,若 $C_{s1} \leq C_{s\text{max}}$ 则以 $t_{\text{渗}1} = t_{\text{渗}i\text{max}}$ 作为控制设定值,若 $C_{s1} > C_{s\text{max}}$ 则逐渐缩短 $t_{\text{渗}1}$ 重新计算,直至找到能使第一个渗碳段结束时刻 $C_{s1} = C_{s\text{max}}$ 的 $t_{\text{渗}1}$ 作为控制设定值,控制器向渗碳气体调节阀 7 发出指令,在 $t = 0$ 至 $t = t_{\text{渗}1}$ 期间向低压脉冲渗碳炉通入渗碳气体。

[0040] 对各个中间脉冲周期的判断及其控制方法如下:

[0041] 控制器以 $t_{\text{渗}i}$ 结束时刻的碳浓度分布曲线为初始值,计算在 $t_{\text{渗}i}$ 结束之后的扩散过程中渗层碳浓度分布,根据 C_s 及 δ 随时间而变化的数据自动作出调节决策,如果 C_s 下降至 $C_{s\text{设}}$ 的下限,而 δ 尚未达到 $\delta_{\text{设}}$ 的下限,则判定第 i 个脉冲周期是中间脉冲周期,该周期的扩散段属过程中间的扩散段简称中间扩散段(下同),反之如果 C_s 降低到 $C_{s\text{设}}$ 的下限之前, δ 已达到 $\delta_{\text{设}}$ 的下限,则判定第 i 脉冲周期是最后一个周期,第 i 扩散段是最终扩散段。除了 $i = 1$ 的第一个脉冲周期,以及最后一个脉冲周期之外,将第 i 个脉冲周期的扩散段时间 $t_{\text{扩}(i)}$ 与下一个脉冲周期的渗碳段时间 $t_{\text{渗}i+1}$ 作为一对组合进行优化控制,通过数值模拟

求得一组 $t_{扩(i)}, t_{渗(i+1)}$ 的数据组合使得 $t_{渗(i+1)}$ 结束时刻 $C_{s(i+1)}$ 落在 C_{smax} 范围内,就以这一组 $t_{扩(i)}, t_{渗(i+1)}$ 作为控制设定值,具体实现方式:

[0042] 给出一组 $t_{扩(i)}$ 和 $t_{渗(i+1)}$ 的初始值,以 $t_{渗i}$ 结束时刻的渗层碳浓度分布为初始条件,通过数值模拟依次计算 $t_{扩i}$ 期间和 $t_{渗i+1}$ 期间渗层碳浓度分布和 C_s ,如果在 $t_{渗i+1}$ 结束时刻 $C_s > C_{smax}$ 则延长 $t_{扩i}$ 或缩短 $t_{渗i+1}$ 重新计算,若在 $t_{渗i+1}$ 结束时刻 $C_s < C_{smax}$ 则缩短 $t_{扩i}$ 或延长 $t_{渗i+1}$ 重新计算,直至获得能使在 $t_{渗i+1}$ 结束时刻, $C_s = C_{smax}$ 的 $t_{扩(i)}, t_{渗(i+1)}$ 的数据组合,就将这一组合作为控制是设定值,如果 $t_{扩i} = t_{扩min}$ 并且 $t_{渗i+1} = t_{渗max}$,在 $t_{渗i+1}$ 结束时刻, $C_{si} < C_{smax}$,则以 $t_{扩i} = t_{扩min}$ 和 $t_{渗i+1} = t_{渗max}$ 为控制设定值。在自动求出了 $t_{扩i}$ 和 $t_{渗i+1}$ 的设定值之后由控制器向渗碳气体调节阀 7 发出指令,在 $t_{扩i}$ 期间内停止向低压渗碳炉 1 通入渗碳气体,在 $t_{渗i+1}$ 期间内向低压渗碳炉 1 通入渗碳气体,用同样的方法,从 $i = 1$ 开始,依次逐一对每个 $t_{扩(i)}$ 和 $t_{渗(i+1)}$ 实现优化控制。

[0043] 最后一个脉冲周期的扩散段控制:当控制器判断出第 i 扩散段为最终扩散段的情况下,则以能够同时满足 $C_s = C_{s设}$ 和 $\delta_s = \delta_{设}$ 的时间作为低压脉冲渗碳过程完成的设定值 $t_{终}$,当时间达到 $t_{终}$ 时,控制器向真空系统发出指令,停止抽气。同时向氮气调节阀 5 发出加大氮气通入量指令,并发出整个低压脉冲渗碳过程已完成的讯号。工件出炉或淬火操作则与一般的低压渗碳炉的出炉或淬火操作相同。

[0044] 为了使渗碳的结果更接近于工件技术指标的中限,控制器按 $t_{终} = \frac{t_{CD} + t_{SD}}{2}$ 确定 $t_{终}$ 的设定值,其中 t_{CD} 表示在最后一个扩散段中 C_s 达到 $C_{s设}$ 中限的时间, t_{SD} 是最后一个扩散段中 δ 达到 $\delta_{设}$ 的中限的时间。

[0045] 由于本发明中的控制器是采用第三类边界条件 $\beta(C_g - C_s) = -D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0}$ 计算低压脉冲

渗碳各个渗碳段的渗层碳浓度分布,能够克服现有技术中采用平均碳流量模型未能真实反映低压脉冲渗碳的实际情况以致无法正确渗层碳浓度分布的缺点,因此本发明得以实现低压渗碳零件的渗层碳浓度分布曲线、表面碳浓度和渗碳层深度的正确控制。由于本发明的渗碳气体调节阀 7 直接根据控制器的指令在各个渗碳段期间向低压渗碳炉 1 通入渗碳气体,在每个扩散段期间停止通入渗碳气体。使得在整个低压渗碳过程 $C_s \leq C_{smax}$,并且尽可能在 $t_{渗i}$ 结束时刻 C_s 落在 C_{smax} 的范围之内,从而能在形成大的浓度梯度、保持高的渗碳速度的同时,避免低压脉冲渗碳表层碳化物级别超差,克服了现有的真空渗碳和低压渗碳技术难以控制渗层碳化物数量和形貌的缺点,由于在本发明中限定了最长的渗碳段时间 $t_{渗max}$,并且 $C_s \leq C_{smax}$,从而可以减少低压渗碳炉 1 内积聚碳黑。与引用文献 [5] 和 [4] 相比,本发明只需要控制渗碳段的时间和扩散段的时间即可实现低压脉冲渗碳的精确控制。渗碳段与扩散段的时间只需要渗碳气体调节阀根据控制器的指令执行通/断动作,即可在不需要依赖其他传感器的情况下实现准确的控制。具有易于实施、高度可靠、易维护、低成本等优点,克服了引用文献 [5] 必须依赖薄膜式真空计和派尼拉真空计以及文献 [4] 需依赖氢气探测头所存在的缺点,避免了现有的技术中因传感器的误差,例如派尼拉真空计的热滞后误差或氢探头表面沉积碳灰等等因素对测量和控制结果的影响,因此和现有技术相比,本发明具有控制系统配置简单,可靠性高易于维护和准确实现脉冲低压渗碳层浓度分布控制等一系列优点。

附图说明

- [0046] 图 1 为本发明结构示意图。
 [0047] 图 2 为控制器示意图。
 [0048] 图 3 为实施例 1 效果示意图。
 [0049] 图 4 为实施例 2 效果示意图。
 [0050] 图 5 为实施例 3 效果示意图。

具体实施方式

[0051] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0052] 如图 1 所示,本实施例涉及一种低压渗碳渗层碳浓度分布控制系统,包括:低压渗碳炉 1、控制器 2、压力传感器 3、热电偶 4、氮气调节阀 5、氮气输入管 6、渗碳气体调节阀 7、渗碳气体输入管 8、真空系统 9 和抽气管 10,其中:压力传感器 3 与低压渗碳炉 1 的炉膛相连,压力传感器 3 的信号输出端与控制器 2 的数据采集单元相连接并传输低压渗碳炉炉内压力信息,热电偶 4 的热端置于低压渗碳炉炉膛 1 内,热电偶 4 的冷端与控制器 2 的数据采集单元相连接并传输炉内温度的信息,氮气输入管 6 通向低压渗碳炉膛 1,氮气调节阀 5 设置于氮气输入管 6 上并与控制器 2 连接接收控制指令,渗碳气体输入管 8 通向低压渗碳炉 1 的炉膛,渗碳气体调节阀 7 设置于渗碳气体输入管 8 上并与控制模块 2 连接接收控制指令,抽气管 10 的两端分别与真空系统 9 和低压渗碳炉 1 的炉膛相连,真空系统 9 的信号接收端与控制模块 2 的输出端连接并接收启动指令。

[0053] 如图 2 所示,所述的控制模块 2 包括:数据采集单元 11、调节控制单元 12 和数值模拟单元 13,数据输入与存贮单元 14,其中:数据采集单元 11 与调节控制单元 12 和数值模拟单元 13 相连接并传输数据信息,调节控制单元 12 与数据采集单元 11 和数值模拟单元 13 相连接并传输数据信息,数值模拟单元 13 与调节控制单元 12 和数据输入与存贮单元 14 相连接并传输数据信息。

[0054] 具体应用:

[0055] 选用 ECM 公司的 ICB D 卧式真空低压脉冲渗碳炉,功率 1000Kw,装炉量 500kg,用 C_2H_2 为渗碳气体,通量 1000 升/小时,氮气流量为 1500 升/小时,炉内最高真空度 1-2mbar,渗碳阶段炉内最高真空度 70mbar。渗碳阶段炉内压力为 100mbar。扩散阶段炉内压力 70mbarmin。

[0056] 选用 DELL 型号工业控制机作为控制器。

[0057] 选用 DRUCK/IFM/KELLER/Rosemount 型号压力传感器。氮气调节阀型号为 TYCO/BURKERT/COAX。氮气输入管的直径为 50mm。渗碳气体输入管径 25mm。渗碳气体调节阀型号为 VALPES。真空泵型号为 BOC/RIETSCHLE。

[0058] 将上述设备与器件按附图 1 所示的方式链接成为低压脉冲渗碳渗层碳浓度分布控制系统 $t_{\text{渗min}} = 48$ 秒, $t_{\text{渗max}} = 70$ 秒, $t_{\text{扩min}} = 60$ 秒,用 C_2H_2 为渗碳气体,渗碳零件为 20CrMnTi 钢小齿轮,渗碳温度 910°C , $D = 1.9 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$, $\beta = 25 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{s}$, $C_{\text{饱}} = 1.37\% \text{CC}_{\text{smax}} =$

1.32-1.36% C, $C_{sd} = 0.77-0.82\% C$, $\delta_{\text{设}} = 0.67-0.73\text{mm}$ 。渗碳阶段通入渗碳气体的流量 = 2500L/小时。氮气流量 = 1500L/小时。扩散阶段渗碳气体流量 = 0。扩散阶段的氮气流量 = 1500L/小时。扩散阶段炉压为 70mbar。

[0059] 计算机用第三类边界条件令 $C_g = C_{\text{饱}}$ 。计算各个渗碳段的碳浓度分布及 C_s 与时间的关系。用边界条件 $J_{\text{表}} = \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$ 计算各个扩散段内的渗层碳浓度分布及 C_s 与时间的关系, 对于第一个渗碳阶段, 当 $t_{\text{渗}1} = t_{\text{渗max}} = 70\text{s}$ 时, $C_s = 1.42\% C$, 高于 $C_{s\text{max}}$ 的上限, 故缩短 $t_{\text{渗}1}$, 求得 $t_{\text{渗}1}$ 为 60 秒时 $C_s = 1.36\% C$, 落在 $C_{s\text{max}}$ 范围内, 取 $t_{\text{渗}1} = 60\text{s}$ 为控制设定值。对于 $i = 1-8$ 的各个脉冲周期。按照在 $t_{\text{渗}i}$ 结束时刻 C_{s_i} 落在 1.32 ~ 1.36% C 范围内为依据计算得出的各个渗碳段时间和扩散段的时间的设定值如表 1 所示。i = 9 是最终扩散数。当设扩 $t_{\text{扩}9} = 1500$ 秒。而总的工艺时间为 160.6 分。表面含碳量 $C_s = 0.81\% C$, 按 $C_{\text{有效}} = 0.36\% C$ 计算得到的深度 = 0.71mm。符合技术条件要求。由控制器 (2) 按表 1 的设定值控制渗碳气体调节阀、氮气调节阀和真空泵操作, 实现 20CrMo 钢齿轮的渗碳。对工件解剖分析得到的浓度分布曲线和表 2 和附图 3 所示。工件表面含碳量 0.81% C。渗层深度 = 0.81mm。表面碳化物级别为 1 级。

[0060] 表 120CrMo 低压脉冲渗碳各个脉冲周期的设定值

[0061]

脉冲期	渗碳阶段时间 s	扩散阶段时间 s
1	60	240
2	54	360
3	48	600
4	48	840
5	48	1110
6	48	1350
7	48	1530
8	48	1650
9	48	1500

[0062] 表 220CrMo 低压脉冲渗碳后的渗层碳浓度分布

[0063]

层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$	层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$
0.0	0.81	1.5	0.21

0.1	0.79	1.6	0.21
0.2	0.72	1.7	0.21
0.3	0.63	1.8	0.21
0.4	0.55	1.9	0.21
0.5	0.49	2.0	0.21
0.6	0.42	2.1	0.21
0.7	0.36	2.2	0.21
0.8	0.32	2.3	0.21
0.9	0.29	2.4	0.21
1.0	0.26	2.5	0.21
1.1	0.24	2.6	0.21
1.2	0.23	2.7	0.21
1.3	0.22	2.8	0.21
1.4	0.22	2.9	0.21

[0064] 实施例 2

[0065] 选用 ECM 公司的 ICBF 卧式真空低压脉冲渗碳炉, 功率 1000kW。装炉量 500kg。用 C₃H₈ 为渗碳气体。通量 3800 升 / 小时。氮气流量为 1500 升 / 小时。炉内最高真空度 10⁻²mbar。渗碳阶段炉内压力为 300mbar。扩散阶段炉内压力 70mbarmin。

[0066] 选用 DELL 型号工业控制机。

[0067] 选用 DRUCK/IFM/KELLER/Rosemount 型号压力传感器。氮气调节阀型号为 TYCO/BURKERT/COAX。氮气输入管的直径为 50mm。渗碳气体输入管径 25mm。渗碳气体调节阀型号为 VALPES。真空泵型号为 BOC/RIETSCHLE。

[0068] 将上述设备与器件按附图 1 所示的方式链接成为低压脉冲渗碳渗层浓度分布控制系统。t_{渗 min} = 30 秒, t_{渗 max} = 60 秒, t_{扩 min} = 60 秒。用 C₃H₈ 为渗碳气体。渗碳零件为 20CrMnTi 预应力锚夹片。渗碳温度 920℃。D = 2 × 10⁻⁷cm²/s。B = 24 × 10⁻⁵cm/s。C_饱 = 1.31% CC_{smax} = 1.25-1.29% C, C_{sd} = 0.77-0.82% C, δ_设 = 0.95-1.05mm。渗碳阶段通入渗碳气体的流量 = 3800L/ 小时。氮气流量 = 1500L/ 小时。扩散阶段渗碳气体流量 = 0。扩散阶段的氮气流量 = 1500L/ 小时。

[0069] 计算机用第三类边界条件令 C_g = C_饱。计算各个渗碳段的碳浓度分布及 C_s 与时间

的关系。用边界条件 $J_{\text{表}} = \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0$ 计算各个扩散段内的渗层碳浓度分布及 C_s 与时间的关系, 由于在 $i = 1$ 的第一个脉冲周期的渗碳内取 $t_{\text{渗}1} = t_{\text{渗max}}, C_{s1} < C_{\text{smax}}, t_{\text{渗}1 \text{ 设定值}} = t_{\text{渗max}}$ 。对于 $i = 1-14$ 的各个脉冲周期。按照在 $t_{\text{渗}i}$ 结束时刻 C_s 落在 $C_{\text{smax}}\% C$ 范围内为依据计算得出的各个渗碳段时间和扩散段时间的设定值。如表 3 所示。 $i = 14$ 是最终扩散数。当 $t_{\text{渗}14} = 2400\text{s}$ 。表面含碳量 $C_s = 0.80\% C$ 。按 $C_{\text{有效}} = 0.36\% C$ 计算得到的深度 = 0.99mm 符合技术条件要求, 总渗碳时间为 322.6min 由控制器按表 3 的设定值控制渗碳气体调节阀, 氮气调节阀和真空泵完成整个低压脉冲渗碳操作。20CrMnTi 预应力锚夹片渗碳后。对工件解剖分析得到的浓度分布如表 4 所示。工件表面含碳量 $0.80\% C$ 。渗层深度 = 1.00mm 。表面碳化物级别为 1 级。附图 4 是计算机界面, 显示 20CrMnTi 预应力锚夹片渗碳结果和渗碳过程各个脉冲周期内 C_s 变化的记录曲线。

[0070] 表 3 20CrMnTi 低压脉冲渗碳各个脉冲周期的设定值

[0071]

脉冲期	渗碳阶段时间 s	扩散阶段时间 s
1	60	150
2	60	330
3	60	570
4	60	840
5	54	1110
6	48	1350
7	42	1530
8	36	1650
9	30	1650
10	30	1680
11	36	1800
12	30	1830
13	30	1860
14	30	2400

[0072] 表 420CrMnTi 低压脉冲渗碳后的渗层碳浓度分布

[0073]

层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$	层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$
0.0	0.79	1.5	0.25
0.1	0.78	1.6	0.24
0.2	0.75	1.7	0.23
0.3	0.70	1.8	0.22
0.4	0.64	1.9	0.22
0.5	0.58	2.0	0.21
0.6	0.53	2.1	0.21
0.7	0.48	2.2	0.21
0.8	0.43	2.3	0.21
0.9	0.39	2.4	0.21
1.0	0.36	2.5	0.21
1.1	0.33	2.6	0.21
1.2	0.30	2.7	0.21
1.3	0.28	2.8	0.21
1.4	0.26	2.9	0.21

[0074] 实施例 3

[0075] 选用上海交通大学研制的 SJTUVLC-75 型号真空低压脉冲渗碳炉, 功率 75kW。装料区尺寸为 600mm×600mm×900mm, 装炉量 400kg。用 C_2H_2 为渗碳气体。通量 750 升 / 小时。氮气流量为 1500 升 / 小时。炉内最高真空度 10^{-2} mbar。渗碳阶段炉内压力为 150mbar。扩散阶段炉内压力 75mbar。

[0076] 选用研华 IPC610 型号工业控制机作为控制器。

[0077] 选用 DRUCK/IFM/KELLER/Rosemount 型号压力传感器。氮气调节阀型号为 TYCO/BURKERT/COAX。氮气输入管的直径为 30mm。渗碳气体输入管径 20mm。渗碳气体调节阀型号为 VALPES。真空泵型号为 BOC/RIETSCHLE。

[0078] 将上述设备与器件按附图 1 所示的方式链接成为低压脉冲渗碳渗层浓度分布控制系统。T 渗 min = 30 秒。T 渗 max = 60 秒。T 扩 min = 60 秒。用 C_2H_2 为渗碳气体。渗

碳零件为 20Cr2Ni4Mo 轴。渗碳温度 1020℃。D = $4.67 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$ 。B = $16 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{s}$ 。C_饱 = 1.55% C, C_{smax} = 1.48-1.55% C, C_{sd} = 0.77-0.82% C, $\delta_{\text{设}} = 1.96-2.05 \text{mm}$ 深度设定 = 1.96-2.05mm。渗碳阶段通入渗碳气体的流量 = 750L/小时。氮气流量 = 1500L/小时。扩散阶段渗碳气体流量 = 0。扩散阶段的氮气流量 = 1500L/小时。

[0079] 计算机自动优化低压脉冲渗碳的工艺参数由于当 $t_{\text{渗}1} = t_{\text{渗max}}$, $C_{s1} < C_{smax}$ 。故取 $t_{\text{渗}1 \text{ 设定值}} = t_{\text{渗max}}$ 。即, $t_{\text{渗}1} = 60 \text{min}$ 。对于 $i = 1 \sim 35$ 的各个脉冲周期的扩散段及后续一个渗碳段的时间。由于按 $t_{\text{扩}i} = t_{\text{扩min}}$ 和 $t_{\text{渗}i+1} = t_{\text{渗max}}$ 计算, 表面碳浓度 $C_s < C_{sd}$ 的下限, 故 $i = 1 \sim 35$ 取 $t_{\text{扩}i} = t_{\text{扩min}}$, $i = 2-36$, $t_{\text{渗}i} = t_{\text{渗max}}$, 对 $i = 36$ 之后的各个脉冲周期。按照在 $t_{\text{渗}i+1}$ 结束时刻 C_s 落在 $C_{smax} \% C$ 范围内为依据计算出各个渗碳段时间和扩散段时间的设定值。如表 5 所示。 $i = 60$ 是最终扩散数。当设扩 $t_{\text{扩}60} = 9942$ 秒。表面含碳量 $C_s = 0.80 \% C$ 。按 $C_{\text{有效}} = 0.36 \% C$ 计算得到的深度 = 1.98mm。符合技术条件要求。由控制器按表 5 的设定值控制渗碳气体调节阀、氮气调节阀和真空泵完成整个低压脉冲渗碳操作。20Cr₂Ni₄Mo 轴渗碳后。对工件解剖分析得到的浓度分布如表 6 所示。工件表面含碳量 0.80% C。渗层深度 = 2.00mm。表面碳化物级别为 1 级。附图 5 是计算机界面, 显示 20Cr₂Ni₄Mo 轴渗碳结果和渗碳过程各个脉冲周期内 C_s 变化的记录曲线。

[0080] 表 5 20Cr₂Ni₄Mo 低压脉冲渗碳各个脉冲周期的设定值

[0081]

脉冲期 (i)	渗碳阶段时间 s	扩散阶段时间 s
1	60	60
2	60	60
3	60	60
4	60	60
5	60	60

[0082]

6	60	60
7	60	60
8	60	60
9	60	60
10	60	60
11	60	60
12	60	60

13	60	60
14	60	60
15	60	60
16	60	60
17	60	60
18	60	60
19	60	60
20	60	60
21	60	60
22	60	60
23	60	60
24	60	60
25	60	60
26	60	60
27	60	60
28	60	60
29	60	60
30	60	60
31	60	60
32	60	60
33	60	60
34	60	60
35	60	60
36	60	90

37	60	90
38	60	90
39	60	90

[0083]

40	60	90
41	60	90
42	60	120
43	60	120
44	60	120
45	60	120
46	60	120
47	60	120
48	60	120
49	60	120
50	60	150
51	60	150
52	60	150
53	60	150
54	60	150
55	60	150
56	60	150
57	60	180
58	60	180
59	60	180
60	60	9942

[0084] 表 6 低压脉冲渗碳后的渗层碳浓度分布

[0085]

层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$	层渗 mm	碳浓度 $\omega\% C$
0.0	0.81	1.5	0.48
0.1	0.81	1.6	0.45
0.2	0.80	1.7	0.43
0.3	0.79	1.8	0.40
0.4	0.78	1.9	0.38
0.5	0.76	2.0	0.36
0.6	0.74	2.1	0.34
0.7	0.712	2.2	0.32
0.8	0.69	2.3	0.30
0.9	0.66	2.4	0.29
1.0	0.63	2.5	0.28
1.1	0.60	2.6	0.26
1.2	0.57	2.7	0.25
1.3	0.54	2.8	0.25
1.4	0.51	2.9	0.24

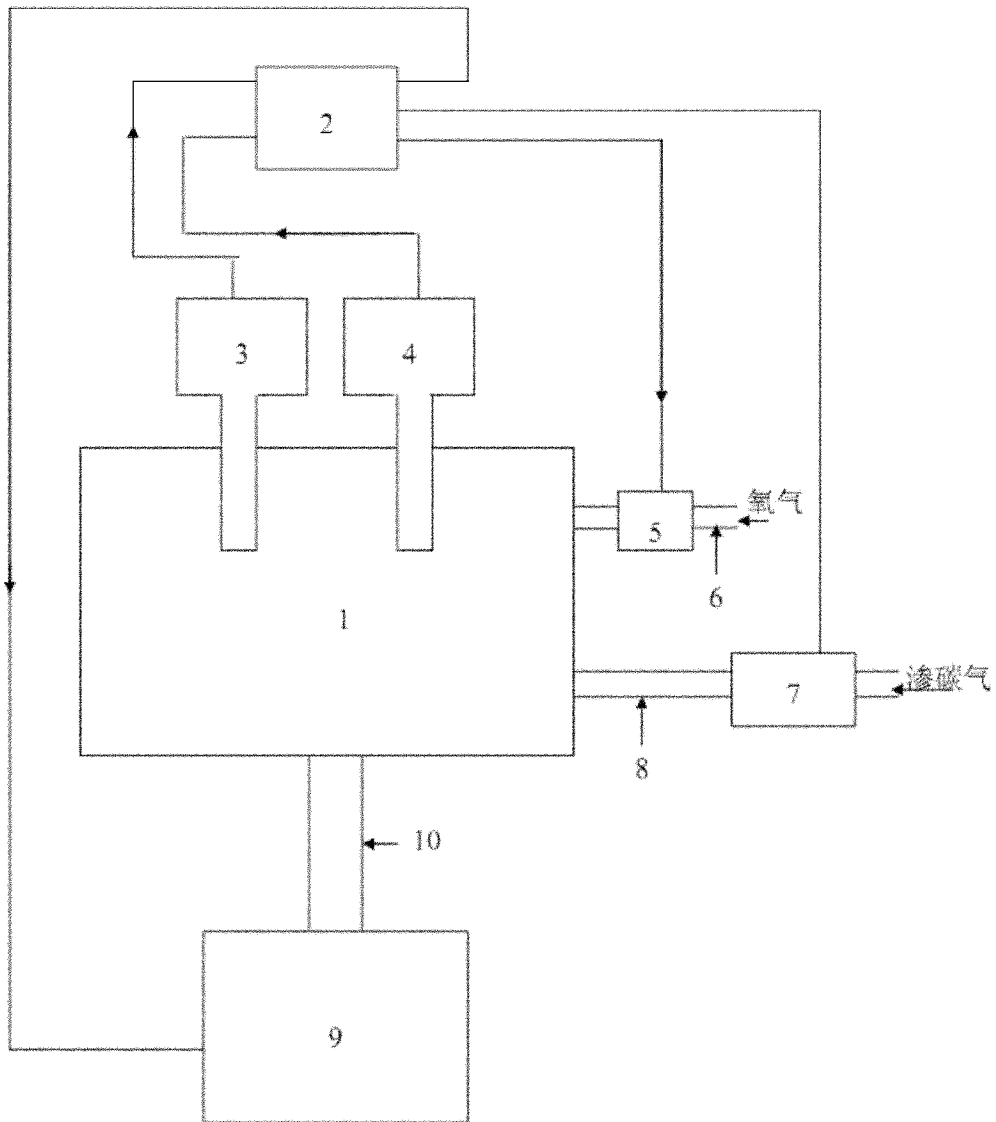


图 1

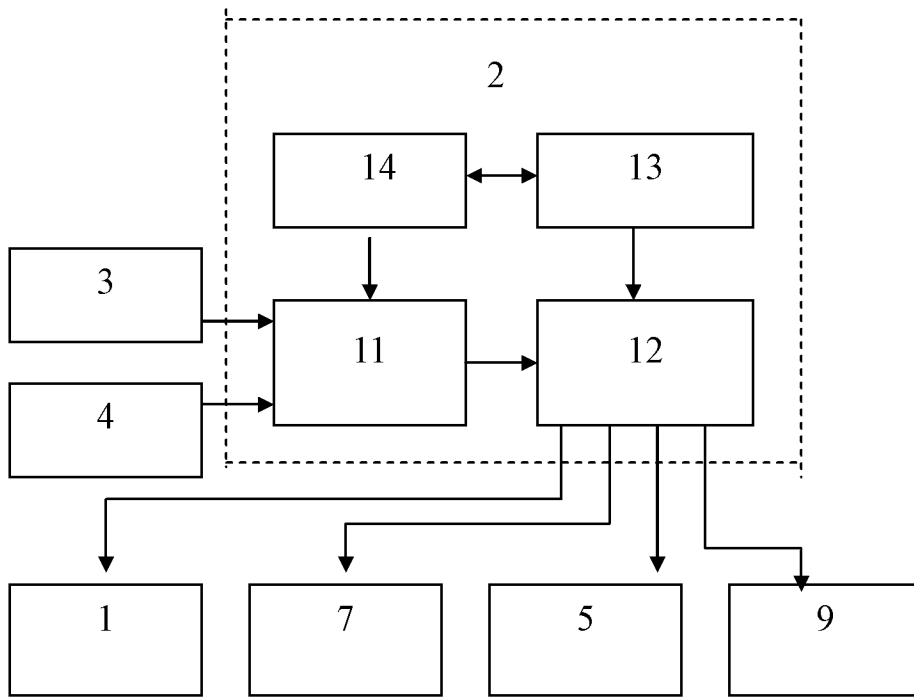


图 2

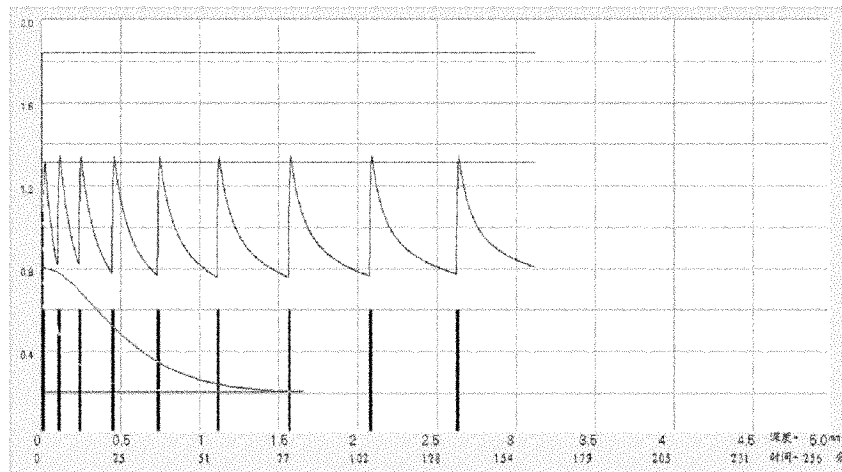


图 3

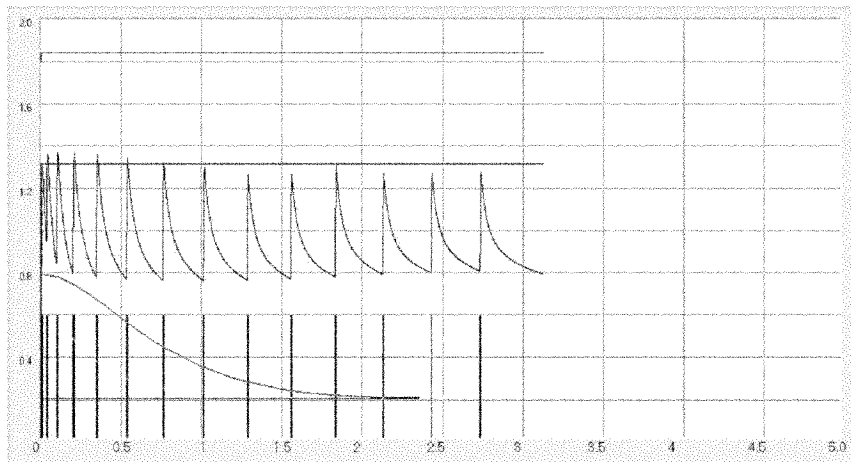


图 4

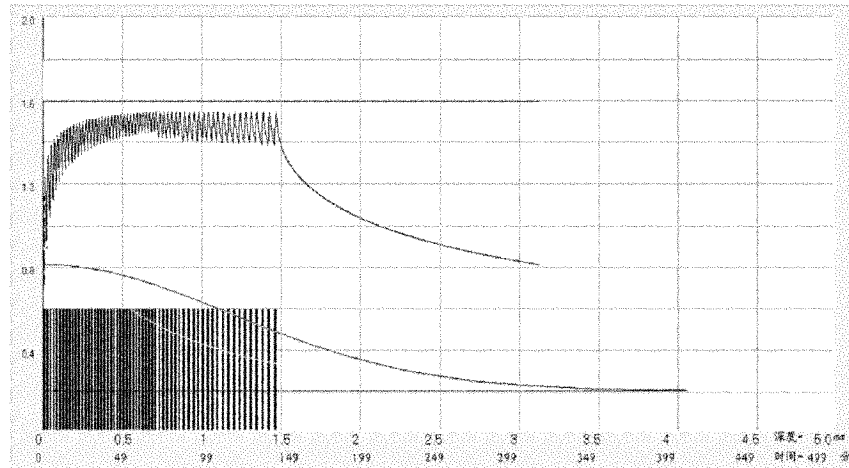


图 5