



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114341392 B

(45) 授权公告日 2024.03.26

(21) 申请号 202080060380.1

(22) 申请日 2020.08.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114341392 A

(43) 申请公布日 2022.04.12

(30) 优先权数据
2019-156250 2019.08.29 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.02.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/032388 2020.08.27

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/039911 JA 2021.03.04

(73) 专利权人 日本制铁株式会社
地址 日本东京都

(72) 发明人 藤堂尚二 今高秀树

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务
所(普通合伙) 11277
专利代理师 刘新宇 李茂家

(51) Int.Cl.
C23C 8/22 (2006.01)
C21D 1/773 (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01)

(56) 对比文件
JP 2001081543 A, 2001.03.27
JP 2002167658 A, 2002.06.11
JP 2005350729 A, 2005.12.22
JP 2007113045 A, 2007.05.10
JP 2018095963 A, 2018.06.21

审查员 罗茂恒

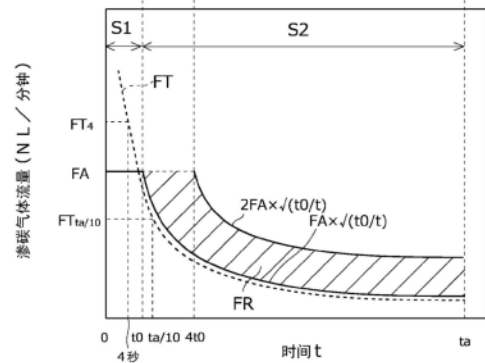
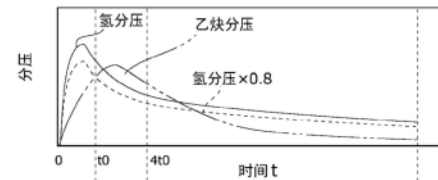
权利要求书2页 说明书25页 附图12页

(54) 发明名称

真空渗碳处理方法和渗碳部件的制造方法

(57) 摘要

提供:能抑制渗碳分布不均的真空渗碳处理方法。在本实施方式的真空渗碳处理方法的前期渗碳工序中,将渗碳工序的结束时间定义为 t_a 时,使实际渗碳气体流量为时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量以上且自前期渗碳工序开始起4秒时刻时的理论渗碳气体流量以下,在后期渗碳工序中,将渗碳工序开始后乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间定义为 t_0 ,将前期渗碳工序开始时的实际渗碳气体流量定义为 F_A 时,使时间 $t_0 \sim$ 时间 $4t_0$ 的期间的实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 F_A 以下,使时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a 的实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。



1. 一种真空渗碳处理方法,其为在真空渗碳炉内对钢材实施真空渗碳处理的真空渗碳处理方法,所述真空渗碳处理方法具备:

加热工序,将所述钢材加热至渗碳温度;

均热工序,在所述加热工序后,将所述钢材以所述渗碳温度进行均热;

渗碳工序,在所述均热工序后,边将乙炔气体即渗碳气体供给到所述真空渗碳炉内,边以所述渗碳温度保持所述钢材;

扩散工序,在所述渗碳工序后,停止所述渗碳气体向所述真空渗碳炉内的供给,以所述渗碳温度保持所述钢材;和,

淬火工序,对所述扩散工序后的所述钢材实施淬火,

在所述渗碳工序中,

将供给到所述真空渗碳炉内的所述渗碳气体的流量定义为实际渗碳气体流量,

将以下流量定义为理论渗碳气体流量:其是用于将距离所述钢材的表面的规定的深度位置处的碳浓度调整为期望浓度所需的所述渗碳气体的流量,且以全部的所述渗碳气体被用于渗碳反应作为前提,

将所述渗碳工序的结束时间定义为 t_a ,

将所述渗碳工序开始后乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间定义为 t_0 时,

所述渗碳工序包括:

持续地测定所述真空渗碳炉内的气氛中的所述氢分压和所述乙炔分压,确定所述时间 t_0 的分压测定工序;

从所述渗碳工序开始起至时间 t_0 为止的前期渗碳工序;和,

从所述时间 t_0 起至时间 t_a 为止的后期渗碳工序,

在所述前期渗碳工序中,

使所述实际渗碳气体流量为时间 $t_a/10$ 时的所述理论渗碳气体流量以上且自所述渗碳工序开始起4秒时刻时的所述理论渗碳气体流量以下,

在所述后期渗碳工序中,

将所述前期渗碳工序的所述实际渗碳气体流量定义为 F_A ,所述 F_A 处于一定设定值的 $\pm 10\%$ 的范围内,将自所述渗碳工序开始时起的时间定义为时间 t 时,

使所述时间 $t_0 \sim$ 时间 $4t_0$ 的期间的所述实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{\frac{t_0}{t}}$ 以上且 F_A 以下,

使所述时间 $4t_0 \sim$ 所述时间 t_a 的所述实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{\frac{t_0}{t}}$ 以上且 $2F_A \sqrt{\frac{t_0}{t}}$ 以下。

2. 根据权利要求1所述的真空渗碳处理方法,其中,

在所述后期渗碳工序中,

在所述时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a 的期间,随着时间的经过,以(A)或(B)的方法降低所述实际渗碳气体流量,

(A) 重复所述实际渗碳气体流量的维持与降低,阶段性地降低所述实际渗碳气体流量;

(B) 随着时间的经过逐渐减少所述实际渗碳气体流量。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的真空渗碳处理方法,其中,

基于使用扩散方程式的扩散模拟确定所述理论渗碳气体流量。

4. 一种渗碳部件的制造方法，

其具备对所述钢材实施权利要求1～权利要求3中任一项所述的真空渗碳处理方法的工序。

真空渗碳处理方法和渗碳部件的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及真空渗碳处理方法和渗碳部件的制造方法。需要说明的是,本说明书中,将经渗碳处理的钢部件称为“渗碳部件”。

背景技术

[0002] 谋求高的面疲劳强度的钢部件是对于钢材实施表面硬化处理来制造的。在表面硬化处理方法之一中具有真空渗碳处理方法。真空渗碳处理方法具备渗碳工序和扩散工序。渗碳工序中,导入作为烃气体的渗碳气体,提高加热至渗碳温度的钢材的表面的碳浓度。烃气体例如为乙炔、丙烷等。在扩散工序中,渗碳工序后,停止渗碳气体的导入,使碳向钢材的表层的深度方向扩散。通过调整渗碳工序以及扩散工序的时间等,从而可以控制钢材的表层的碳浓度。

[0003] 然而,作为渗碳气体的烃气体在热力学上是不稳定的。因此,渗碳温度高的情况下,渗碳气体容易分解为碳以及氢等。渗碳温度高的情况下进而渗碳气体分子活跃地运动。由于活跃的运动,渗碳气体分子彼此以高速碰撞,渗碳气体分解。由于渗碳气体的分解,产生煤、焦油。此时,表面碳浓度以及渗碳深度分布不均。因此,不能将渗碳部件的表层保持为固定的品质。因此,谋求在真空渗碳处理方法中,抑制渗碳部件的表面的碳浓度的分布不均、以及表层的渗碳深度的分布不均。在以下的说明中,将渗碳部件中的表面的碳浓度的分布不均、以及渗碳部件的表层的渗碳深度的分布不均称为“渗碳分布不均”。

[0004] 日本特开平8-325701号公报(专利文献1)、日本特开2016-148091号公报(专利文献2)、日本特开2002-173759号公报(专利文献3)、日本特开2005-350729号公报(专利文献4)和日本特开2012-7240号公报(专利文献5)中提出了抑制渗碳分布不均的技术。

[0005] 专利文献1中所记载的真空渗碳处理方法是将由钢材形成的工件在真空渗碳炉的加热室内进行真空加热,并且向加热室内供给渗碳气体来进行渗碳处理。在该真空渗碳处理方法中,作为渗碳气体使用气态的链式不饱和烃。并且,将加热室内设为1kPa以下的真空状态实施渗碳处理。专利文献1记载了,由此抑制煤的产生,并且可以均匀地渗碳。

[0006] 在专利文献2中所记载的真空渗碳处理方法中,向进行了减压的气氛的渗碳室喷射渗碳气体,从而对在渗碳室中配置的被处理物进行渗碳。该真空渗碳处理方法中,基于被处理物的渗碳室中的装载状态下的容积、渗碳室的体积、被处理物的总表面积、以及基于渗碳气体的种类而设定的常数,从而算出向渗碳室喷射的渗碳气体的气体喷射量。并且,将所算出的气体喷射量的渗碳气体喷射到渗碳室中。专利文献2记载了,由此可以防止点状的过量渗碳产生。

[0007] 在专利文献3中所记载的真空渗碳气氛气体控制系统中,将丙烷气体设为渗碳气体。在该控制系统中,向设置有被渗碳处理材的真空渗碳炉内供给渗碳气体。并且,由于渗碳气体的热分解反应而产生的碳向被渗碳处理材中固溶以及扩散,从而进行被渗碳处理材的渗碳处理。在该控制系统中,通过对由于该热分解反应而产生的氢气的分压进行渗碳处理中实时测量。并且,基于其的测量值,在实时对供给到炉内的渗碳气体量进行调整控制。

专利文献3记载了,由此可以稳定地产生高品质的渗碳钢。

[0008] 在专利文献4中所记载的真空渗碳处理方法中,通过渗碳深度和表面碳浓度,基于材料的内部扩散而算出渗碳处理所需要的渗碳气体的理论流量V与渗碳时间t的关系 $V=f(t)$ 。并且,在渗碳工序的渗碳前期中,供给与理论流量V相比足够多并且不产生熏黑的渗碳时流量V1。进而,在接续渗碳前期的渗碳后期,供给与理论流量V相比少的扩散时流量V2。专利文献4记载了,由此可以防止煤的产生并且减少渗碳体的残留。

[0009] 在专利文献5中记载的真空渗碳方法中,基于碳对被处理品内部的扩散,求出渗碳处理所需的渗碳气体的理论流量的时间变化。然后,基于理论流量的时间变化,将由理论流量下的渗碳反应产生的氢相对于处理室内的总压力的分压比定义为理论氢分压比。求出理论氢分压比的时间变化,比较理论氢分压比的时间变化与实际的渗碳处理时的相对于处理室内的总压力的氢分压比的时间变化。基于这些近似程度,判定同一操作批次内的渗碳品质的分布不均程度。专利文献5中记载了,由此可以提高渗碳部件的品质的重现性,降低渗碳部件的品质分布不均。

[0010] 现有技术文献

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1:日本特开平8-325701号公报

[0013] 专利文献2:日本特开2016-148091号公报

[0014] 专利文献3:日本特开2002-173759号公报

[0015] 专利文献4:日本特开2005-350729号公报

[0016] 专利文献5:日本特开2012-7240号公报

[0017] 然而,通过与专利文献1~专利文献5的真空渗碳处理方法不同的其他方法,也可以抑制渗碳分布不均。

发明内容

[0018] 发明要解决的问题

[0019] 本公开的目的在于,提供:能抑制渗碳分布不均的真空渗碳处理方法和渗碳部件的制造方法。

[0020] 用于解决问题的方案

[0021] 基于本公开的真空渗碳处理方法为在真空渗碳炉内对钢材实施真空渗碳处理的真空渗碳处理方法,所述真空渗碳处理方法具备:

[0022] 加热工序,将前述钢材加热至渗碳温度;

[0023] 均热工序,在前述加热工序后,将前述钢材以前述渗碳温度进行均热;

[0024] 渗碳工序,在前述均热工序后,边将乙炔气体即渗碳气体供给到前述真空渗碳炉内,边以前述渗碳温度保持前述钢材;

[0025] 扩散工序,在前述渗碳工序后,停止前述渗碳气体向前述真空渗碳炉内的供给,以前述渗碳温度保持前述钢材;和,

[0026] 淬火工序,对前述扩散工序后的前述钢材实施淬火,

[0027] 在前述渗碳工序中,

[0028] 将供给到前述真空渗碳炉内的前述渗碳气体的流量定义为实际渗碳气体流量,

- [0029] 将前述钢材的前述真空渗碳处理所需的前述渗碳气体的流量定义为理论渗碳气体流量，
- [0030] 将前述渗碳工序的结束时间定义为 t_a ，
- [0031] 将前述渗碳工序开始后乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间定义为 t_0 时，
- [0032] 前述渗碳工序包括：
- [0033] 持续地测定前述真空渗碳炉内的气氛中的前述氢分压和前述乙炔分压，确定前述时间 t_0 的分压测定工序；
- [0034] 从前述渗碳工序开始起至时间 t_0 为止的前期渗碳工序；和，
- [0035] 从前述时间 t_0 起至时间 t_a 为止的后期渗碳工序，
- [0036] 在前述前期渗碳工序中，
- [0037] 使前述实际渗碳气体流量为时间 $t_a/10$ 时的前述理论渗碳气体流量以上且自前述渗碳工序开始起4秒时刻时的前述理论渗碳气体流量以下，
- [0038] 在前述后期渗碳工序中，
- [0039] 将前述前期渗碳工序的前述实际渗碳气体流量定义为 F_A ，将自前述渗碳工序开始时起的时间定义为时间 t 时，
- [0040] 使前述时间 $t_0 \sim$ 时间 $4t_0$ 的期间的前述实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 F_A 以下，
- [0041] 使前述时间 $4t_0 \sim$ 前述时间 t_a 的前述实际渗碳气体流量为 $F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2F_A \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。
- [0042] 基于本公开的渗碳部件的制造方法具备对前述钢材实施上述真空渗碳处理方法的工序。
- [0043] 发明的效果
- [0044] 本公开的真空渗碳处理方法可以抑制渗碳分布不均。本公开的渗碳部件的制造方法可以制造渗碳分布不均得到抑制的渗碳部件。

附图说明

- [0045] 图1为示出通过由使用扩散方程的扩散模拟得到的钢材的表层的碳的扩散通量而算出的、理论渗碳气体流量与时间的关系的一个例子的图。
- [0046] 图2为示出现有的渗碳工序中的实际渗碳气体流量的经时变化与理论渗碳气体流量的经时变化的图。
- [0047] 图3为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量的经时变化(下图)、和渗碳工序中的真空渗碳炉的气氛中的乙炔分压和氢分压的经时变化(上图)的图。
- [0048] 图4为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的热模式的一例的图。
- [0049] 图5为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的前期渗碳工序中的气体流量设定值的一例的图。
- [0050] 图6为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的气体流量设定值的一例的图。
- [0051] 图7为不同于图6的、示出本实施方式的真空渗碳处理方法的气体流量设定值的一

例的图。

[0052] 图8为不同于图6和图7的、示出本实施方式的真空渗碳处理方法的气体流量设定值的一例的图。

[0053] 图9为试验编号1、试验编号5、试验编号7~试验编号12的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0054] 图10为试验编号2~试验编号4、试验编号6的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0055] 图11为试验编号13、试验编号14的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0056] 图12为试验编号15~试验编号17的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0057] 图13为试验编号18的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0058] 图14为试验编号19的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0059] 图15为试验编号20的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

[0060] 图16为试验编号21的渗碳工序中的气体流量设定值与气体分析值的示意图。

具体实施方式

[0061] 本发明人等对于抑制真空渗碳处理方法中的渗碳部件中的渗碳分布不均的方法进行了研究。本发明人等最初着眼于存在虽然供给到真空渗碳炉内但是不引起渗碳反应而排气的渗碳气体。不引起渗碳反应的渗碳气体的一部分成为煤,附着于成为真空渗碳处理的对象的钢材。煤成为碳的供给源。因此,钢材中的煤附着的部分中,过剩地供给碳。因此,由于煤的附着而变得容易产生渗碳分布不均。另一方面,如果为了抑制煤的附着而过剩减少渗碳气体流量,则渗碳反应变得不充分。该情况下也变得容易产生渗碳分布不均。

[0062] 基于以上的见解,本发明人等着眼于在理论上限定渗碳工序中从真空渗碳炉内的气氛侵入至钢材的表面的渗碳气体的流量。本说明书中,“理论渗碳气体流量”是指,使距离钢材的表面规定的深度位置处的碳浓度为期望浓度所需的渗碳气体流量,且为将全部渗碳气体用于渗碳反应作为前提的渗碳气体流量。本发明人等认为,基于事先限定的理论渗碳气体流量调整实际的真空渗碳处理中供给到真空渗碳炉的渗碳气体的流量(以下,记作实际渗碳气体流量),从而抑制不利于渗碳反应的渗碳气体的量,且可以使渗碳反应没有不足,其结果,可以抑制渗碳分布不均。

[0063] 伴有真空渗碳处理的进行,碳浓度的梯度变得缓和,因此,从钢材表面侵入至钢材内部的碳的扩散通量减少。从炉内气氛侵入至钢材的渗碳气体流量随着时间的经过而减少。因此,理论渗碳气体流量成为伴有自渗碳气体的供给开始(渗碳工序开始)的时间经过而变动的函数。理论渗碳气体流量可以基于扩散模拟而求出,也可以根据实验而求出。以下,作为理论渗碳气体流量的确定方法的一例,对基于扩散模拟的理论渗碳气体流量的确定进行说明。但是,理论渗碳气体流量的确定方法如上述不限于扩散模拟。

[0064] [关于理论渗碳气体流量]

[0065] 本实施方式的真空渗碳处理方法中作为渗碳气体使用乙炔。乙炔的分解由于作为渗碳对象的钢材的表层处的碳扩散而被控速。亦即,从钢材表面侵入至钢材内部的碳的扩

散通量越大,乙炔的分解量越多。需要说明的是,以乙炔以外的渗碳气体进行渗碳的情况下,如后述,设想渗碳反应以外的化学反应。因此,难以适用于本实施方式的真空渗碳处理方法。

[0066] 在真空渗碳处理中,碳在钢材中扩散,亦即,菲克的第1定律成立。将使通过真空渗碳处理距离钢材表面规定的深度位置处的碳浓度为期望浓度所需的渗碳气体(乙炔气体)的流量、且将全部渗碳气体用于渗碳反应作为前提的渗碳气体流量定义为理论渗碳气体流量 $FT(t)$ 。此处, t 为自渗碳工序开始时起的时间。渗碳工序开始时如后述是指,将渗碳气体开始供给到炉内时。 $FT(t)$ 对应于将侵入至钢材表面的碳流量换算为乙炔气体流量的值。需要说明的是,以下的说明中,将理论气体流量也简记作“ FT ”。

[0067] 例如通过基于使用扩散方程的公知的扩散模拟而计算从钢材表面侵入的碳的扩散通量 $J(\text{mm} \cdot \text{质量}\%/\text{s})$ 与每单位时间的碳浓度的变化量 $(\partial C/\partial t)$,从而可以算出理论渗碳气体流量 FT 。具体而言,理论渗碳气体流量可以利用以下的方法而求出。

[0068] 在扩散发生的情况(亦即,菲克的第1定律成立的情况)下,从钢材表面侵入的碳的扩散通量 J 由式(1)定义,每单位时间的碳浓度的变化量 $(\partial C/\partial t)$ 由式(2)定义。

$$[0069] \quad J = -D (\partial C/\partial z) \quad (1)$$

$$[0070] \quad \partial C/\partial t = -\partial J/\partial z \quad (2)$$

[0071] 此处, D 为钢材中的碳的扩散系数(mm^2/s)。 C 为碳的质量浓度(质量%)。 z 为从钢材表面向深度方向的位移(mm)。 t 为从开始渗碳工序起的时间(秒)。 ∂ 为偏微分符号。

[0072] 若基于化学势的梯度而计算碳浓度的变化量,则可以严格地操控碳的扩散驱动力。该情况下,碳的扩散通量 $J(\text{mm} \cdot \text{mol}\%/\text{s})$ 由式(3)定义,碳浓度的时间变化由式(4)定义。

$$[0073] \quad J = -m_x (\partial \mu/\partial z) \quad (3)$$

$$[0074] \quad \partial x/\partial t = -\partial J/\partial z \quad (4)$$

[0075] 此处 m 为碳的迁移率($\text{mm}^2 \cdot \text{mol}/\text{J} \cdot \text{s}$)。 x 为碳的摩尔浓度($\text{mol}\%$)。 μ 为碳的化学势(J/mol)。 z 为向深度方向的位移(mm)。式(4)中的 t 为从开始渗碳工序起的时间(s)。 ∂ 为偏微分符号。

[0076] 此处,碳的扩散驱动力为式(3)中的 $(\partial \mu/\partial z)$ 部分。此外,真空渗碳处理中的奥氏体(γ)中的碳浓度小至2%以下,摩尔浓度与质量浓度大致呈比例关系。因此,可以以质量浓度(质量%)表述式(3)。以质量%表述式(3)时,碳的扩散通量 $J(\text{mm} \cdot \text{质量}\%/\text{s})$ 由式(5)定义,碳浓度的时间变化由式(2)定义。

$$[0077] \quad J = -mC (\partial \mu/\partial z) \quad (5)$$

[0078] 式(5)中的 C 为碳浓度(质量%)。

[0079] 使用上述菲克的第1定律(式(1)、(3)以及式(5))、以及菲克的第2定律(式(2)以及式(4)),以如下的方法进行用于算出理论渗碳气体流量 FT 的扩散模拟。

[0080] 在渗碳气体使用乙炔的真空渗碳处理中,在钢材的表面,由于渗碳气体的分解,碳从钢材的表面侵入至钢材。假定在渗碳工序时的钢材表面,钢材中的碳浓度上升至与石墨平衡为止。因此,将真空渗碳处理中的钢材表面的碳的扩散模拟中的边界条件定义为“钢材

表面的碳浓度与石墨平衡”。以上述前提如下所述地实施扩散模拟。

[0081] [扩散模拟中的计算方法]

[0082] 首先,制成以多个单元区分作为真空渗碳处理对象的钢材的表层的网格数据。各单元的尺寸为公知的尺寸即可。单元的尺寸例如为 $1 \sim 500\mu\text{m}$ 。单元的尺寸也可以从钢材的表面向深度方向缓慢地扩大。此时,相邻的单元的尺寸之比为 $0.80 \sim 1.25$,优选为 $0.90 \sim 1.10$ 。其中,单元的尺寸并不限于此。进行扩散模拟的对象可以为一维。钢材的形状为圆棒或圆筒的情况下,通过将网格数据设为圆筒坐标系,从而可以作为一维来处理。进而,钢材(圆棒或圆筒)的直径若为钢中的碳的扩散距离的50倍以上,则可以与平面同样地进行处理。在此,所谓的扩散距离是指 \sqrt{Dt} 。扩散系数D根据钢材的碳浓度和渗碳温度来计算。时间t(秒)为渗碳时间(渗碳工序的实施时间)。例如,使用JIS G 4053(2008)所规定的SCM415作为钢材,在渗碳温度为 950°C 且渗碳时间为51分钟的情况下,扩散距离 \sqrt{Dt} 为 0.20mm 。此时,钢材的直径若为 10mm 以上,则可以与平面相同地进行处理。需要说明的是,使用JIS G 4053(2008)所规定的SCM420作为钢材,在渗碳温度为 950°C 且渗碳时间为51分钟的情况下,扩散距离 \sqrt{Dt} 为 0.21mm 。并且,设定扩散模拟的解析时间(阶跃时间)。阶跃时间没有特别限定,例如设为 $0.001 \sim 1.0$ 秒。

[0083] 真空渗碳处理中,实施渗碳工序,之后,实施扩散工序。也有时多次实施渗碳工序和扩散工序的设置。例如,实施渗碳工序和扩散工序的设置2次的情况下,实施第1次的渗碳工序,在第1次的渗碳工序后实施第1次的扩散工序。进而,在第1次的扩散工序后实施第2次的渗碳工序,在第2次的渗碳工序后实施第2次的扩散工序。如此实施多次渗碳工序和扩散工序的情况下,每个各渗碳工序中,重新设置前次的渗碳工序中的理论渗碳气体流量,新设定下一个渗碳工序中的理论渗碳气体流量。

[0084] 需要说明的是,实施第n次(n为1以上的自然数)的渗碳工序后,夹着低于第n次的渗碳工序时间的 $1/10$ 的扩散工序实施第n+1次的渗碳工序的情况下,认为第n次的渗碳工序与第n+1次的渗碳工序是1次渗碳工序。亦即,该情况下、在不重新设置第n次的渗碳工序中设定的理论气体流量的情况下,直接用于第n+1次的渗碳工序。换言之,第n次的渗碳工序与第n+1次的渗碳工序之间的扩散工序时间如果为第n次的渗碳工序时间的 $1/10$ 以上,则第n+1次的渗碳工序中,重新设置第n次的渗碳工序的理论渗碳气体流量,设定新的理论渗碳气体流量。

[0085] 如上所述,钢材表面的碳浓度设为与石墨的平衡状态。因此,基于作为真空渗碳处理对象的钢材的化学组成,通过公知的热力学计算而求出在渗碳温度下的与石墨平衡状态下的平衡相以及平衡组成。成为真空渗碳处理对象的钢材的化学组成在考虑到由于C浓度的增加而被稀释的情况下,使C浓度增加至石墨以平衡相的方式出现为止而进行热力学计算。例如,C浓度增加7质量%时,钢材自身的质量达到1.07倍。因此,除C以外的其它元素的浓度基于设为 $1/1.07$ 倍的化学组成而进行热力学计算。根据通过热力学计算而求出的平衡相以及平衡组成,可以确定钢材中的C含量、C的化学势、以及在奥氏体中固溶的固溶C浓度。热力学计算中可以使用公知的热力学计算软件。公知的热力学计算软件是指例如商品名Pandata(商标)。

[0086] 同样地,在除钢材表面以外的钢材内部,存在真空渗碳的情况、渗碳体(θ)析出的情况。此时,钢材中的碳(C)被分配到渗碳体和奥氏体中。因此,通过上述的热力学计算而求

出渗碳温度下的除钢材表面以外的钢材内部的平衡相以及平衡组成。与钢材表面同样地,在钢材内部也可以确定平衡相、平衡组成、钢材中的C含量、C的化学势、以及在奥氏体中固溶的固溶C浓度。

[0087] 钢材中的奥氏体中的碳的扩散系数D可以利用使用成为真空渗碳处理对象的钢材而预先通过实验求出的数值,或可以使用作为实验数据而报告的数据。例如,作为奥氏体中的C的扩散系数D(m²/s),可以参考由Gray G.Tibbetts等所提倡的内容,使用以下的式子。

$$[0088] \quad D=4.7 \times 10^{-5} \times \exp(-1.6 \times C - (37000-6600 \times C)/1.987/T)$$

[0089] 此处,式中的“C”为奥氏体中的固溶C浓度(质量%),T为渗碳温度(K)。

[0090] 钢材中的奥氏体中的碳的迁移率m(m²/s)可以根据扩散系数D和热力学计算来求出。将迁移率m公式化而成的式子为以下的式子。

$$[0091] \quad m=1.54 \times 10^{-15} \exp(-1.61 \times C - (17300-2920 \times C)/T)$$

[0092] 此处,式中的“C”为奥氏体中的固溶C浓度(质量%),T为渗碳温度(K)。

[0093] 接着,设定由真空渗碳处理而得到的表层的C浓度。具体而言,设定在最表面的单元的目标碳浓度与在规定深度的目标碳浓度。进而,作为初期值,设所有单元中的固溶C浓度=钢材(芯部)的化学组成的C浓度(C₀),在所有单元中将渗碳体析出量设为0。

[0094] 基于以上的前提条件,在每一阶跃时间实施以下的计算。

[0095] (A) 基于各单元中的碳浓度和热力学计算结果,确定渗碳温度下的各单元中的奥氏体中的固溶C浓度(即,扩散的C的浓度)。此时,假定渗碳体中的C被固定,仅奥氏体中的固溶C扩散。

[0096] (B) 在各单元中,基于确定的固溶C浓度,使用式(1)、式(3)或式(5),通过差分法,求出各单元中的扩散通量J。此时,如上所述,钢材表面的固溶碳浓度设为与石墨平衡状态时的固溶极限的固溶碳浓度(C_{sat})。基于来自钢材表面的扩散通量J₀,将渗碳效率设为100%,求出乙炔流量。将求出的乙炔流量定义为该阶跃时间下的理论渗碳气体流量。

[0097] (C) 基于求出的各单元中的扩散通量J,确定在该阶跃时间经过时刻的各单元的C浓度。

[0098] (D) 基于热力学计算结果,作为平衡相,判断渗碳体是否生成。需要说明的是,无视渗碳体的生成所需要的时间(亦即,确定下一阶跃时间下的(A))。

[0099] (E) 进行2次以上渗碳工序的情况下,进行渗碳工序之间的扩散工序的模拟,进行之后的渗碳工序的模拟。在扩散工序中,将来自钢材表面的扩散通量J₀设为零,进行(A)~(D)的计算。

[0100] 在每一阶跃时间求出以上的计算,求出渗碳工序时的钢材的每单位表面积的碳自钢材表面的扩散通量J₀(t)。然后,将钢材的每单位表面积的扩散通量J₀(t)换算为乙炔气体流量,进而,乘以成为真空渗碳处理的对象的钢材的表面积S(m²),求出时间t下的理论渗碳气体流量FT(t)。在将横轴设为从渗碳开始时起的经过时间(渗碳时间)、纵轴设为理论渗碳气体流量FT的图中,标绘各渗碳时间中的理论渗碳气体流量FT,从而可以以理论渗碳气体流量曲线的形式表示理论渗碳气体流量FT。图1为示出由上述的扩散模拟得到的钢材的表层的碳的扩散通量而算出的、理论渗碳气体流量与时间的关系的一个例子的图。图1中的●表示各时间下的理论渗碳气体流量FT。图1中的曲线C_{1.00}表示理论渗碳气体流量曲线。

[0101] 理论渗碳气体流量曲线C_{1.00}的近似式可以由式(6)表示。

[0102] $FT=S \times A / \sqrt{t}$ (6)

[0103] 此处,FT为理论渗碳气体流量(NL/分钟)。式(6)中的A可以用式(7)表示。式(6)中的t为从渗碳工序开始时起的时间(分钟)。

[0104] $A=a \times T^2+b \times T+c$ (7)

[0105] 式(7)中的a、b和c为由钢材的化学组成确定的常数,T为渗碳温度(°C)。例如,钢材为JIS G 4053(2008)所规定的SCM420的情况下,由上述扩散模拟求出时,为 $a=8.52 \times 10^{-5}$ 、 $b=-0.140$ 、 $c=58.2$ 。钢材为JIS G 4053(2008)所规定的SCM415的情况下,由上述扩散模拟求出时,为 $a=8.64 \times 10^{-5}$ 、 $b=-0.141$ 、 $c=59.0$ 。

[0106] 作为理论渗碳气体流量FT的近似式的式(6)在本说明书中也视为理论渗碳气体流量FT。亦即,基于式(6),可以求出实际的渗碳工序中各渗碳时间下的理论渗碳气体流量FT。

[0107] 上述说明中,作为理论渗碳气体流量的确定方法的一例,基于使用扩散方程式的公知的扩散模拟,求出理论渗碳气体流量。然而,根据其他方法也可以确定理论渗碳气体流量。例如,也可以根据实验确定理论渗碳气体流量。

[0108] 根据实验求出理论气体流量的方法例如如下所述。对于与实际进行真空渗碳处理的钢材等同的化学组成的钢材,实施真空渗碳处理。使供给到真空渗碳炉的渗碳气体流量为恒定,渗碳工序中,持续地测定真空渗碳炉内的乙炔分压和氢分压。然后,求出乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上最初的时间 t_0 成为渗碳工序结束时间即时间 t_a (亦即,全渗碳工序时间)的1/10以下的渗碳气体流量的最小值 F_{Amin} 。基于求出的渗碳气体流量 F_{Amin} ,形成理论渗碳气体流量 $FT=F_{Amin} \sqrt{(t_0/t)}$ 。

[0109] 需要说明的是,如上述,理论渗碳气体流量跟与钢材表面接触而用于渗碳反应的渗碳气体流量相等。因此,理论渗碳气体流量不受热处理炉的大小、形状的影响。

[0110] [关于本实施方式的真空渗碳处理方法]

[0111] 将真空渗碳处理时的实际供给到真空渗碳炉的渗碳气体的流量定义为“实际渗碳气体流量”FR。本发明人等对于如图1所示的、假定使用大幅偏离渗碳时间下的理论渗碳气体流量FT关系的实际渗碳气体流量FR的情况的事项进行了调查以及研究。

[0112] 图2为示出现有的渗碳工序中的实际渗碳气体流量FR的经时变化与理论渗碳气体流量FT的经时变化的图。图2的纵轴表示渗碳气体流量(NL/分钟),横轴表示从渗碳工序开始起的时间(分钟)。图2的实线FR如上所述示出以往的渗碳工序中的实际渗碳气体流量FR。图2的虚线 $C_{1.00}$ 如上所述表示理论渗碳气体流量FT。

[0113] 参照图2,将渗碳工序的开始时间定义为“0”、渗碳工序的结束时间定义为“ t_a ”。亦即,渗碳工序从时间0起进行至时间 t_a 为止。结束时间 t_a 根据渗碳处理后的钢材的规定深度位置处的碳浓度的设定值而预先设定。另外,将实际渗碳气体流量FR最初变得与理论渗碳气体流量FT相等的时间定义为“ t_e ”。

[0114] 将从渗碳工序开始起至时间 t_e 为止的期间定义为期间S100。将从时间 t_e 起至时间 t_a 为止的期间定义为期间S200。在期间S100中,实际渗碳气体流量FR低于理论渗碳气体流量FT(曲线 $C_{1.00}$)。因此,在现有的真空渗碳处理方法的渗碳工序中,期间S100中的实际渗碳气体流量FR不足。该情况下,在钢材表面,产生渗碳反应充分的部分和渗碳反应不充分的部分。因此,钢材表面的渗碳分布不均变大。另外,在钢材表层,也有时得不到期望的碳浓度。另一方面,在期间S200中,实际渗碳气体流量FR高于理论渗碳气体流量FT(曲线 $C_{1.00}$)。因

此,在期间S200中,实际渗碳气体流量FR变得过剩,残留于真空渗碳炉内。其结果,在期间S200中,由于残留的渗碳气体而产生煤、焦油。该情况下,钢材表面的渗碳分布不均变大。

[0115] 基于以上的调查结果,本发明人等考虑在渗碳工序中结合理论渗碳气体流量曲线 $C_{1.00}$ 来控制实际渗碳气体流量FR。

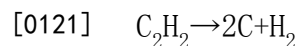
[0116] 然而,如图2所示,在渗碳工序初期的期间S100中,与之后的期间S200相比,理论渗碳气体流量曲线 $C_{1.00}$ 的斜率陡峭。因此可知,在实际操作的期间S100中,结合该理论渗碳气体流量曲线 $C_{1.00}$ 的斜率来调整实际渗碳气体流量FR非常困难。

[0117] 进而,在渗碳工序初期的期间S100中,在渗碳工序开始时($t=0$),采用上述式(6)的情况下,理论渗碳气体流量FT成为无限大。因此,在实际的操作中,在期间S100的初期导入与理论渗碳气体流量FT相等的实际渗碳气体流量FR极困难。

[0118] 因此,本发明人等认为作为控制实际渗碳气体流量的要素,不仅考虑了理论渗碳气体流量FT,还研究了其他要素。根据实际渗碳气体流量FR而真空渗碳炉内的气氛内的气体成分变化。该气体成分的变化引起渗碳分布不均、煤的产生。因此,本发明人等作为控制实际渗碳气体流量的要素,不仅着眼于理论渗碳气体流量FT还着眼于真空渗碳炉的气氛内的气体成分。

[0119] 本发明人等着眼于真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压。真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压可以用公知的分析器测定。分析器例如为四级杆质谱仪。

[0120] 所分析的氢分压是根据基于以下的式子的反应在真空渗碳炉内产生的。



[0122] 氢分压成为渗碳工序中的渗碳反应量的指标。亦即,氢分压成为渗碳分布不均的抑制程度的指标。另一方面,乙炔分压是指,不引起渗碳反应的剩余气体量,成为煤和焦油的产生量的指标。

[0123] 使用乙炔的真空渗碳处理中,渗碳工序刚刚开始后、亦即、刚刚开始乙炔向炉内的供给后的化学反应极迅速。亦即,渗碳工序刚刚开始后的碳向钢材表面的进入速度极迅速。因此,供给至炉内的乙炔流量(渗碳气体流量)如果少,则炉内气氛基本成为氢气体。其结果,炉内的氢分压变高,乙炔分压变低。另一方面,供给至炉内的乙炔气体流量(真空渗碳气体流量)如果多,则不引起渗碳反应的乙炔气体残留在炉内。该情况下,炉内的氢分压变低,乙炔分压变高。因此,通过监控炉内的氢分压和乙炔分压,从而可以推测钢材表面处的渗碳反应量。

[0124] 本发明人等认为,如果基于理论渗碳气体流量FT、和真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压可以控制实际渗碳气体流量FR,则真空渗碳处理中,可以抑制渗碳分布不均,且也可以抑制煤的产生。因此,本发明人等进一步进行了研究,获得了如下见解。

[0125] (a) 在渗碳工序的初期(期间S100附近),渗碳气体流量如果少,则渗碳反应量少。因此,乙炔分压上升的速度慢。其结果,渗碳分布不均变大,渗碳部件的表层的碳浓度也变低。

[0126] (b) 将渗碳工序的结束时间定义为 t_a 。如上述,结束时间 t_a 根据渗碳处理后的钢材的表面碳浓度和渗碳深度的设定值而预先设定。然后,将自渗碳工序的开始时间起结束时间 t_a 的 $1/10$ 的时间定义为 $t_a/10$ 。将时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量定义为 $FT_{t_a/10}$ 。如果使渗碳工序初期时的实际渗碳气体流量FR为时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量 $FT_{t_a/10}$ 以上,则

真空渗碳炉内的气氛中的氢分压急速上升,但是早期减少,乙炔分压的上升速度变快。其结果,可以抑制渗碳工序初期时的渗碳反应量的不足,可以降低渗碳分布不均。

[0127] (c) 另一方面,渗碳工序初期时的实际渗碳气体流量FR如果过多,则炉内的乙炔分压过剩地快速上升。该情况下,乙炔气体过剩残留于炉内。其结果,产生煤或焦油,发生渗碳分布不均。将自渗碳工序开始起4秒时刻时的理论渗碳气体流量定义为 FT_4 。在渗碳工序初期,实际渗碳气体流量FR如果为 FT_4 以下,则可以抑制炉内的实际渗碳气体流量FR过剩变多的情况。因此,可以抑制渗碳分布不均。

[0128] (d) 如果将实际渗碳气体流量FR维持在多的水平不变,则乙炔分压缓慢地增加。因此,任意时刻时乙炔分压会大幅超过氢分压。该情况下,在真空渗碳炉内的气氛中,不引起渗碳反应的剩余气体变得过剩地存在。因此,产生源自剩余气体的煤,附着于渗碳部件的表面。其结果,渗碳分布不均变大。

[0129] (e) 在渗碳工序中,乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上时,如果维持或降低实际渗碳气体流量FR,则在真空渗碳炉内的气氛中,可以抑制剩余气体。因此,可以抑制渗碳分布不均。

[0130] 基于以上的见解,本发明人等认为,如果如下述(I)~(III)调整渗碳工序中的实际渗碳气体流量FR,则在渗碳工序初期可以确保充分的渗碳反应量,且之后抑制剩余气体,抑制煤、焦油的产生,可以降低渗碳分布不均。

[0131] 此处,关于各术语,如下所定义。

[0132] 时间 t_a :渗碳工序的结束时间

[0133] 时间 t_0 :渗碳工序开始后、乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间

[0134] 时间 $t_a/10$:自渗碳工序的开始时间起结束时间 t_a 的1/10的时间

[0135] 时间 $4t_0$:渗碳工序开始后、从渗碳工序开始起至时间 t_0 为止的期间的4倍的期间经过的时间

[0136] 前期渗碳工序S1:从渗碳工序开始起至时间 t_0 为止的期间

[0137] 后期渗碳工序S2:从时间 t_0 起至时间 t_a 为止的期间

[0138] 实际渗碳气体流量FR:实际供给到真空渗碳炉的渗碳气体(乙炔)流量

[0139] 理论渗碳气体流量 $FT_{t_a/10}$:时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量

[0140] 理论渗碳气体流量 FT_4 :自渗碳工序开始起4秒时刻时的理论渗碳气体流量

[0141] 定义上述术语的情况下,如图3所示,如下述(I)~(III)调整实际渗碳气体流量FR。

[0142] (I) 在前期渗碳工序S1中,使实际渗碳气体流量FR为 $FT_{t_a/10}$ 以上且 FT_4 以下。在前期渗碳工序S1中使实际渗碳气体流量FR恒定的情况下,将该值作为实际渗碳气体流量FA。

[0143] (II) 在后期渗碳工序S2中时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以上且FA以下。

[0144] (III) 在后期渗碳工序S2中时间 $4t_0 \sim t_a$ 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以上且 $2FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以下。

[0145] 此处,t为自渗碳开始时起的时间。

[0146] 图3为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量的经时变化(下图)、和渗碳工序中的真空渗碳炉的气氛中的乙炔分压和氢分压的经时变化

(上图)的图。参照图3,本实施方式中,在时间 t_0 ~时间 t_a 的期间,将实际渗碳气体流量FR调整为图3中的阴影的区域的范围内。成为阴影区域的下限的曲线为渗碳气体流量 $=FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 的曲线。阴影区域的上限为渗碳气体流量 $=2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 的曲线。 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 和 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 均为与理论渗碳气体流量 FT 的式(6)成比例的式子。

[0147] 需要说明的是,如上述,将时间 t_0 设为渗碳工序开始后、乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间。如图3所示,在前期渗碳工序S1的初期,氢分压比乙炔分压急速上升。这是由于,渗碳反应活跃地发生。氢分压急速上升后,比乙炔分压先开始下降。然后,氢分压下降,结果乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上。将该时刻、亦即、渗碳工序开始后、乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间定义为时间 t_0 。需要说明的是,此处所谓“0.8”倍是舍去乙炔分压/氢分压的比的计算值的小数第2位的值。

[0148] 基于以上的见解完成的本实施方式的真空渗碳处理方法具备如下构成。

[0149] [1]

[0150] 一种真空渗碳处理方法,其为在真空渗碳炉内对钢材实施真空渗碳处理的真空渗碳处理方法,所述真空渗碳处理方法具备:

[0151] 加热工序,将前述钢材加热至渗碳温度;

[0152] 均热工序,在前述加热工序后,将前述钢材以前述渗碳温度进行均热;

[0153] 渗碳工序,在前述均热工序后,边将乙炔气体即渗碳气体供给到前述真空渗碳炉内,边以前述渗碳温度保持前述钢材;

[0154] 扩散工序,在前述渗碳工序后,停止前述渗碳气体向前述真空渗碳炉内的供给,以前述渗碳温度保持前述钢材;和,

[0155] 淬火工序,对前述扩散工序后的前述钢材实施淬火,

[0156] 在前述渗碳工序中,

[0157] 将供给到前述真空渗碳炉内的前述渗碳气体的流量定义为实际渗碳气体流量,

[0158] 将前述钢材的前述真空渗碳处理所需的前述渗碳气体的流量定义为理论渗碳气体流量,

[0159] 将前述渗碳工序的结束时间定义为 t_a ,

[0160] 将前述渗碳工序开始后乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间定义为 t_0 时,

[0161] 前述渗碳工序包括:

[0162] 持续地测定前述真空渗碳炉内的气氛中的前述氢分压和前述乙炔分压,确定前述时间 t_0 的分压测定工序;

[0163] 从前述渗碳工序开始起至时间 t_0 为止的前期渗碳工序;和,

[0164] 从前述时间 t_0 起至时间 t_a 为止的后期渗碳工序,

[0165] 在前述前期渗碳工序中,

[0166] 使前述实际渗碳气体流量为时间 $t_a/10$ 时的前述理论渗碳气体流量以上且自前述渗碳工序开始起4秒时刻时的前述理论渗碳气体流量以下,

[0167] 在前述后期渗碳工序中,

[0168] 将前述前期渗碳工序的前述实际渗碳气体流量定义为 FA ,将自前述渗碳工序开始时起的时间定义为时间 t 时,

[0169] 使前述时间 t_0 ~ 时间 $4t_0$ 的期间的前述实际渗碳气体流量为 $FA \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 FA 以下,

[0170] 使前述时间 $4t_0$ ~ 前述时间 t_a 的前述实际渗碳气体流量为 $FA \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2FA \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。

[0171] [2]

[0172] 根据[1]所述的真空渗碳处理方法,其中,

[0173] 在前述后期渗碳工序中,

[0174] 在前述时间 $4t_0$ ~ 时间 t_a 的期间,随着时间的经过,以(A)或(B)的方法降低前述实际渗碳气体流量。

[0175] (A)重复前述实际渗碳气体流量的维持与降低,阶段性地降低前述实际渗碳气体流量,

[0176] (B)随着时间的经过逐渐减少前述实际渗碳气体流量。

[0177] [3]

[0178] 根据[1]或[2]所述的真空渗碳处理方法,其中,

[0179] 基于使用扩散方程式的扩散模拟确定前述理论渗碳气体流量。

[0180] [4]

[0181] 一种渗碳部件的制造方法,

[0182] 其具备对前述钢材实施[1] ~ [3]中任一项所述的真空渗碳处理方法的工序。

[0183] 以下,对于基于本实施方式的真空渗碳处理方法以及渗碳部件的制造方法进行详细地叙述。

[0184] [真空渗碳处理方法]

[0185] 图4为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的加热模式的一个例子的图。参照图4,本实施方式的真空渗碳处理方法具备:加热工序(S10);均热工序(S20);渗碳工序(S30);扩散工序(S40)和淬火工序(S50)。以下,说明各工序的详细情况。

[0186] [加热工序(S10)]

[0187] 在加热工序(S10)中,将钢材加热至渗碳温度。作为真空渗碳处理对象的钢材可以由第三者提供的钢材,也可以为实施真空渗碳处理方法而制造的钢材。钢材的化学组成没有特别限定。使用实施了渗碳处理的公知的钢材即可。钢材为例如由JIS G 4053(2008)规定的机械结构用合金钢钢材。更具体而言,钢材例如为由JIS G 4053(2008)规定的SCr415、SCr420以及SCM415等。

[0188] 准备的钢材可以为被热加工的钢材,也可以为被冷加工的钢材。热加工例如为热轧、热挤压、热锻造等。冷加工例如为冷轧、冷拔、冷锻造等。钢材也可以为在被热加工或冷加工之后实施以切削加工为代表的机械加工的钢材。

[0189] 在加热工序(S10)中,将钢材装入到真空渗碳炉内,将钢材加热至渗碳温度 T_c 为止。加热工序(S10)为真空渗碳处理方法中公知的工序。渗碳温度 T_c 为公知的温度即可。渗碳温度 T_c 为 A_{c_3} 相变点以上。渗碳温度 T_c 的优选的范围为 $900 \sim 1130^\circ\text{C}$ 。渗碳温度 T_c 若为 900°C 以上,则由于辐射导致的热传导变高,真空渗碳炉内的温度容易均匀。其结果,钢材的渗碳分布不均容易变小。渗碳温度若为 1130°C 以下,则可以防止钢材的晶粒直径变粗大,可以抑制钢材的强度降低。渗碳温度 T_c 进一步优选的下限为 910°C ,进一步优选为 920°C 。渗碳温

度 T_c 进一步优选的上限为1100℃,进一步优选为1080℃。

[0190] [均热工序(S20)]

[0191] 在均热工序(S20)中,以渗碳温度 T_c 将钢材保持规定时间。以下,将均热工序(S20)中的保持时间称为均热时间。均热工序(S20)为真空渗碳处理方法中公知的工序。均热时间可以根据钢材的形状和/或尺寸而适当调整。优选均热时间为10分钟以上。更具体而言,将与钢材的长度方向垂直的截面换算为圆的情况下,优选均热时间为每圆当量直径25mm为30分钟以上。例如,圆当量直径为30mm的情况下,均热时间优选为36分钟以上。均热时间的优选上限优选为120分钟,进一步优选为60分钟。

[0192] 加热工序(S10)以及均热工序(S20)中的炉内的压力没有特别限定。加热工序(S10)以及均热工序(S20)中的炉内的压力例如可以为100Pa以下。在加热工序(S10)和/或均热工序(S20)中,进行氮气的导入和基于真空泵的真空排气,可以为1000Pa以下的氮气气氛。在均热工序(S20)中,至少直至渗碳工序(S30)开始,使真空渗碳炉内为低压或真空。例如,在均热工序(S20)中,直至渗碳工序(S30)开始,使真空渗碳炉内为10Pa以下。

[0193] [渗碳工序(S30)]

[0194] 本说明书中,渗碳工序(S30)是指,在减压下或真空下的炉内供给渗碳气体的工序。亦即,均热工序(S20)后、向减压或真空下的炉内开始供给渗碳气体时为渗碳工序(S30)开始时。在渗碳工序(S30)中,边将炉内维持为低压,边向炉内供给渗碳气体。炉内为低压,因此,渗碳气体的分子彼此碰撞的频率变少。亦即,在炉内的气氛下渗碳气体分解的频率变少。因此,在低压下将渗碳气体供给至钢材表面,从而可以抑制煤、焦油的产生。其结果,可以使钢材的表面碳浓度迅速上升。在从渗碳开始起至渗碳结束(时间 t_a)为止的渗碳工序(S30)中,例如使炉内为1~1000Pa。但是,渗碳工序(S30)中的炉内压不限定于上述范围。

[0195] 在渗碳工序(S30)中,向真空渗碳炉内导入渗碳气体,在渗碳温度 T_c 下保持钢材规定时间。

[0196] [渗碳气体]

[0197] 在本实施方式中,在真空渗碳处理方法的渗碳工序(S30)中使用的渗碳气体为乙炔气体。

[0198] 在以往的真空渗碳处理中,大多使用丙烷气体。然而,丙烷气体除渗碳反应以外也会发生向甲烷、乙烯、乙炔、氢气等的分解反应。由于分解反应而产生的甲烷以及乙烯多的情况下,无助于渗碳反应,被从真空渗碳炉排气。因此,使用丙烷气体的情况下,利用通过扩散方程而求出的碳的扩散通量的扩散模拟,不能计算理论渗碳气体流量 FT 。另一方面,乙炔不易发生渗碳以外的反应。因此,利用通过扩散方程而求出的碳的扩散通量的扩散模拟,从而可以算出理论渗碳气体流量 FT 。

[0199] 在本实施方式中,作为渗碳气体的乙炔的纯度为98%以上即可。对于乙炔,例如可以将丙酮中溶解的乙炔、在二甲基甲酰胺(DMF)中溶解的乙炔用作渗碳气体。优选作为渗碳气体使用在DMF中溶解的乙炔。该情况下,可以抑制溶剂向炉内气氛的混入。将向真空渗碳炉供给乙炔的供给源设为储气罐的情况下,从储气罐向真空渗碳炉内供给乙炔时的一次压力优选为0.5MPa以上。供给到真空渗碳炉的情况下,优选使用减压阀减压至0.20MPa以下进行供给。

[0200] [渗碳工序(S30)的详细]

[0201] 渗碳工序(S30)包括:分压测定工序S0、前期渗碳工序S1和后期渗碳工序S2。以下,对各工序的详细进行说明。

[0202] [事先准备]

[0203] 在实施真空渗碳处理方法前,作为事先准备,事先确定符合成为对象的钢材的理论渗碳气体流量 FT ,事先求出图1所示的、渗碳工序(S30)的结束时间 t_a 为止的理论渗碳气体流量 FT 的经时变化。理论渗碳气体流量 FT 可以基于扩散模拟而确定,也可以基于实验而确定。

[0204] [分压测定工序S0]

[0205] 在分压测定工序S0中,在渗碳工序(S30)中,测定真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压。具体而言,持续地测定真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压。此处,“持续地”是指,经时地多次测定氢分压和乙炔分压。可以连续地测定氢分压和乙炔分压,也可以以规定的时间间隔测定氢分压和乙炔分压。测定用公知的分压测定器而进行。分压测定器例如为四级杆质谱仪。但是,作为分压测定器,也可以使用四级杆质谱仪以外的其他分压测定器。

[0206] 在分压测定工序S0中,经时地测定真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压。亦即,监控真空渗碳炉内的气氛中的氢分压和乙炔分压。基于经时地测得的氢分压和乙炔分压,确定时间 t_0 (渗碳工序开始后、乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间)。

[0207] 使用四级杆质谱仪作为分压测定器的情况下,四级杆质谱仪依次测定各成分气体(氢、乙炔)。因此,氢分压的测定时间与乙炔的测定时间偏离。四级杆质谱仪的各成分(氢、乙炔)的分析时间优选0.2秒以上且2.0秒以下,分析间隔优选4.0秒以下。

[0208] 例如,使用四级杆质谱仪作为分压测定器的情况下,假定以0.5秒分析氢后,以0.5秒分析乙炔,自氢分析开始起2.0秒后,再次以0.5秒分析氢,然后,以0.5秒分析乙炔。该情况下,各成分(氢、乙炔)的分析时间为0.5秒,分析间隔为2.0秒。以下的说明中,将各成分的分析期间定义为“分析阶跃”。另外,将从测定阶跃的开始时间起至下一个测定阶跃的开始时间为止的期间定义为“分析间隔”。上述例子的情况下,分析阶跃为1.0秒(氢的分析时间0.5秒+乙炔的分析时间0.5秒),分析间隔为2.0秒。

[0209] 使用四级杆质谱仪作为分压测定器的情况下,乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的时间、亦即、图3中的时间 t_0 的判断以如下方法进行。使某个分析阶跃的开始时间为 t_1 、该分析阶跃的结束时间为 t_2 。在分析阶跃中,可以先测定氢分压,也可以先测定乙炔分压。进而,将下一个分析阶跃的开始时间定义为 t_3 、该分析阶跃的结束时间定义为 t_4 。此时,分析期间成为时间 t_1 ~时间 t_3 之间的时间。

[0210] 该情况下、时间 t_1 ~时间 t_2 时的分析阶跃中得到的乙炔分压为相同的分析阶跃(亦即,时间 t_1 ~时间 t_2 时的分析阶跃)中得到的氢分压的0.8倍以上、且经过分析间隔后的下一个时间 t_3 ~时间 t_4 时的分析阶跃中得到的氢分压为时间 t_1 ~时间 t_2 时的分析阶跃中得到的乙炔分压的1.25倍以下的情况下,将测定该乙炔分压的分析阶跃的结束时间 t_2 定义为时间 t_0 。

[0211] 不仅乙炔分压为相同的分析阶跃中得到的氢分压的0.8倍以上、而且下一个分析阶跃中得到的氢分压为前1个分析阶跃中得到的乙炔分压的1.25倍以下也作为条件的理由如下所述。假定渗碳气体向炉内开始流动时为时间 t_1 ~时间 t_2 的分析阶跃中、结束氢分压

的测定后、且测定乙炔分压前的情况下,该分析阶跃中得到的氢分压成为0。因此,该分析阶跃中得到的乙炔分压必须成为氢分压的0.8倍以上。将该分析阶跃的结束时间认定为时间 t_0 的情况下,实际上成为未充分向炉内导入乙炔气体。因此,必须不将这种情况认定为时间 t_0 。上述情况时,经过分析间隔后的下一个分析阶跃(时间 t_3 ~时间 t_4)时测定的氢分压大幅超过前1个分析阶跃中得到的乙炔分压的1.25倍。这是由于,通过导入乙炔气体,从而氢分压急剧变高。

[0212] 另一方面,向炉内充分导入渗碳气体,结果得到的乙炔分压成为相同的分析阶跃中得到的氢分压的0.8倍以上的的情况下,经过分析间隔后的下一个分析阶跃中得到的氢分压成为前次的分析阶跃中得到的乙炔分压的1.25倍以下。这是由于,如图3所示,向炉内充分导入渗碳气体的情况下,氢分压随着时间经过不增加反而减少。

[0213] 因此,使用四级杆质谱仪作为分压测定器的情况下,得到的乙炔分压为相同的分析阶跃中得到的氢分压的0.8倍以上、且经过分析间隔后的下一次分析阶跃中得到的氢分压为前1个分析阶跃中得到的乙炔分压的1.25倍以下的情况下,将测定该乙炔分压的分析阶跃的结束时间 t_2 定义为时间 t_0 。

[0214] 需要说明的是,炉内气体(氢、乙炔)可以在炉内进行分析,也可以提取到炉外进行分析。在炉内分析炉内气体的情况下,使用设置于炉内的分压测定器。分压测定器也可以为上述四级杆质谱仪以外的测定器。另外,也可以根据每个各成分气体,分开使用分压测定器。例如,可以用四级杆质谱仪分析乙炔分压,用其他分压测定器分析氢分压。

[0215] 渗碳工序(S30)在上述减压下供给渗碳气体。因此,渗碳气体在炉内整体中迅速地发生渗碳反应。因此,炉内气体的分压测定结果在炉内不易分布不均。亦即,炉内气体的分析结果可以视为在炉内基本均匀。

[0216] [前期渗碳工序S1]

[0217] 如图3所示,将从渗碳工序(S30)开始起至乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间 t_0 为止的期间定义为前期渗碳工序S1。在前期渗碳工序S1中,以满足如下条件I的方式,调整实际渗碳气体流量FR。

[0218] (I) 在前期渗碳工序S1中,使实际渗碳气体流量FR为理论渗碳气体流量 $FT_{ta/10}$ 以上且理论渗碳气体流量 FT_4 以下。

[0219] 图5为示出本实施方式的真空渗碳处理方法的前期渗碳工序S1中的气体流量设定值的一例的图。在前期渗碳工序S1中,使实际渗碳气体流量FR为图5中的阴影区域的范围内($FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下)。

[0220] 前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR如果低于时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量 $FT_{ta/10}$,则在前期渗碳工序S1中,渗碳气体的供给过度不足。该情况下,实施了真空渗碳处理方法的钢材(渗碳部件)中,渗碳分布不均变大。另一方面,前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR如果超过自渗碳工序开始起4秒时刻时的理论渗碳气体流量 FT_4 ,则实际渗碳气体流量FR过多。该情况下,经过时间 t_0 后至时间 $4t_0$ 为止,将实际渗碳气体流量FR调整为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2FA \sqrt{(t_0/t)}$ 以下耗费时间。因此,剩余气体(乙炔气体)会过剩地残留于真空渗碳炉内,变得容易产生煤。其结果,在实施真空渗碳处理方法而制造的渗碳部件(钢材)中,渗碳分布不均变大。

[0221] 如果使前期渗碳工序S1中实际渗碳气体流量FR为时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流

量 $FT_{ta/10}$ 以上且自渗碳工序开始起4秒时刻时的理论渗碳气体流量 FT_4 以下,则将满足后述的后期渗碳工序S2中的实际渗碳气体流量FR的条件II和III作为前提,可以充分抑制真空渗碳处理后的渗碳部件(钢材)的渗碳分布不均。前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR的调整可以用公知的方法。例如,可以由供给阀调整供给到真空渗碳炉的渗碳气体的流量,调整实际渗碳气体流量FR,也可以由其他公知的方法调整实际渗碳气体流量FR。实际渗碳气体流量FR的调整可以由真空渗碳炉的公知的控制装置实施。控制装置例如通过调整上述供给阀的开度而调整实际渗碳气体流量FR。

[0222] 前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR优选为恒定。实际渗碳气体流量FR如果为恒定,则可以精度高地测定炉中的氢分压和乙炔分压的变动。前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR如果变动,则炉中的氢分压的变动与乙炔分压的变动受到实际渗碳气体流量FR的变动的影晌。前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR如果为恒定,则可以精度高地测定炉中的氢分压与乙炔分压的变动。因此,前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR优选为恒定。例如如图3所示,前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR优选为恒定。该情况下,通过前期渗碳工序S1为恒定的实际渗碳气体流量FR的值成为前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FA。然而,在实际操作中,实际渗碳气体流量未完全如设定值那样成为恒定,对于本领域技术人员来说公知的技术常识是:自设定值在某种程度的范围内波动。因此,使前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FR为恒定的情况下,实际渗碳气体流量FR允许设定值的 $\pm 10\%$ 的余量。亦即,通过前期渗碳工序S1实际渗碳气体流量FR在确定的设定值的 $\pm 10\%$ 内推移的情况下,使该设定值为前期渗碳工序中的实际渗碳气体流量FA的值。亦即,本说明书中,FA是指,前期渗碳工序S1中的设定值 $\pm 10\%$ 的范围内的渗碳气体流量。优选FA为前期渗碳工序S1中的设定值 $\pm 5\%$ 的范围内。

[0223] [后期渗碳工序S2]

[0224] 如图3所示,将从时间 t_0 起至渗碳工序结束时间 t_a 为止的期间定义为后期渗碳工序S2。在后期渗碳工序S2中,以满足如下条件II和III的方式,调整实际渗碳气体流量FR。

[0225] (II) 在后期渗碳工序S2中时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以上且FA以下。

[0226] (III) 在后期渗碳工序S2中时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以上且 $2FA \times \sqrt{t_0/t}$ 以下。

[0227] 此处,t为自开始渗碳时起的时间。

[0228] 总之,在后期渗碳工序S2中,以成为图3中的阴影的范围内的方式调整实际渗碳气体流量FR。由此,在后期渗碳工序S2中,可以抑制过剩的渗碳气体残留于真空渗碳炉内的情况。其结果,可以降低煤、焦油的产生,可以抑制实施真空渗碳处理方法后的渗碳部件(钢材)的渗碳分布不均。

[0229] [关于条件II]

[0230] 在后期渗碳工序S2的时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,实际渗碳气体流量如果低于 $FA \times \sqrt{t_0/t}$,则气体流量不足。该情况下,在真空渗碳炉内渗碳气体的分布产生分布不均。例如在渗碳气体的供给喷嘴附近,渗碳气体的浓度高,从供给喷嘴偏离的区域中,渗碳气体的浓度低。其结果,在真空渗碳处理工序后的钢材中,渗碳分布不均变大。

[0231] 另一方面,在后期渗碳工序S2的时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,实际渗碳气体流量如果超过

FA,则过剩地供给渗碳气体。该情况下,由于该剩余气体而产生煤、焦油。其结果,真空渗碳处理后的渗碳部件(钢材)的渗碳分布不均变大。

[0232] 因此,在后期渗碳工序S2的时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且FA以下。该情况下,将满足条件I和条件III作为条件,可以充分确保渗碳反应所需的渗碳气体流量,且可以抑制煤、焦油的产生。其结果,可以抑制渗碳部件的渗碳分布不均的发生。需要说明的是,如上述,实际渗碳气体流量FR允许设定值的 $\pm 10\%$ 的余量。因此,如上述,对于前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体流量FA,也存在同样的余量。亦即,本说明书中,前期渗碳工序中的实际渗碳气体流量FA是指,前期渗碳工序S1中的实际渗碳气体FR的设定值 $\pm 10\%$ 的范围内的渗碳气体流量。另外,可以直至后期渗碳工序S2的时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间的中途,接着前期渗碳工序S1,以FA维持实际渗碳气体流量FR,之后,调整实际渗碳气体流量为 $FA \sim FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 的范围内。

[0233] [关于条件III]

[0234] 在后期渗碳工序S2的时间 $4t_0 \sim t_a$ 的期间,实际渗碳气体流量如果低于 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$,则气体流量不足。该情况下,在真空渗碳炉内渗碳气体的分布产生分布不均。例如,在渗碳气体的供给喷嘴附近,渗碳气体的浓度高,从供给喷嘴偏离的区域中,渗碳气体的浓度低。其结果,在真空渗碳处理工序后的钢材中,渗碳分布不均变大。

[0235] 另一方面,在后期渗碳工序S2的时间 $4t_0 \sim t_a$ 的期间,实际渗碳气体流量如果超过 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$,则过剩地供给渗碳气体。该情况下,由于该剩余气体而产生煤、焦油。其结果,真空渗碳处理后的渗碳部件(钢材)的渗碳分布不均变大。

[0236] 因此,在后期渗碳工序S2的时间 $4t_0 \sim t_a$ 的期间,使实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。该情况下,将满足条件I和条件II作为条件,可以充分确保渗碳反应所需的渗碳气体流量,且可以抑制煤、焦油的产生。其结果,可以抑制渗碳部件的渗碳分布不均的发生。

[0237] 在后期渗碳工序S2中,实际渗碳气体流量FR只要满足条件II和条件III就对实际渗碳气体流量FR的经时变化没有特别限定。例如,如图6所示,在后期渗碳工序S2的时间 $4t_0 \sim t_a$ 的期间内,可以开始实际渗碳气体流量FR的降低。

[0238] 在后期渗碳工序S2中,如图6所示,可以随着时间经过,重复实际渗碳气体流量FR的维持与降低,阶段性地降低实际渗碳气体流量FR。另外,如图7所示,在后期渗碳工序S2中,可以随着时间经过逐渐减少实际渗碳气体流量FR。进而,如图8所示,可以随着时间经过逐渐减少实际渗碳气体流量FR后再上升。总之,在后期渗碳工序S2中,只要满足条件II和条件III就对实际渗碳气体流量FR的经时变动没有特别限定。

[0239] [渗碳工序(S30)中的渗碳气压]

[0240] 渗碳工序(S30)中的渗碳气体的压力(渗碳气压)没有特别限定。优选使前期渗碳工序S1中的渗碳气压高于后期渗碳工序S2中的渗碳气压。该情况下,在后期渗碳工序S2中,可以进一步抑制煤的产生。进一步优选使后期渗碳工序S2中的渗碳气压随着时间的经过而降低。渗碳工序(S30)中的优选的渗碳气压为1kPa以下。

[0241] [渗碳工序(S30)的时间 t_a]

[0242] 从渗碳工序(S30)开始($t=0$)起至结束为止的时间即时间 t_a 根据真空渗碳处理工序后的钢材的表层的目标碳浓度在真空渗碳处理开始前适宜设定。时间 t_a 可以根据使用扩

散方程的上述扩散模拟而确定。时间 t_a 可以事先实施真空扩散处理试验由实验数据确定。时间 t_a 优选长。时间 t_a 长时,实际渗碳气体流量 FR 的调整变得容易。时间 t_a 的优选下限为50秒,进一步优选为1分钟(60秒),进一步优选为3分钟(180秒)。时间 t_a 的优选上限为120分钟,进一步优选为60分钟。

[0243] [扩散工序(S40)]

[0244] 扩散工序(S40)为真空渗碳处理方法中公知的工序。在扩散工序(S40)中,停止渗碳气体向真空渗碳炉的供给,以渗碳温度 T_c 将钢材保持规定时间。在扩散工序(S40)中,使由于渗碳工序(S30)而侵入到钢材的碳扩散到钢材内部。由此,渗碳工序(S30)中变高的表层的碳浓度降低,规定深度的碳浓度上升。在扩散工序(S40)中,在真空渗碳炉内进行氮气的导入和基于真空泵的真空排气,设为1000Pa以下的氮气气氛或设为真空。真空例如为10Pa以下。通过将真空渗碳炉内设为1000Pa以下的氮气气氛或真空状态,从而抑制碳从钢材表面的侵入以及脱离。

[0245] 需要说明的是,扩散工序(S40)中的保持时间根据真空渗碳处理工序后的钢材的表层的目标碳浓度而适当设定。因此,扩散工序(S40)中的保持时间没有特别限定。

[0246] [淬火工序(S50)]

[0247] 在淬火工序(S50)中,以淬火温度(T_s)将结束了渗碳工序(S30)以及扩散工序(S40)的钢材保持规定时间,之后进行骤冷(淬火)。由此,C浓度高的钢材表层部分相变为马氏体而形成硬化层。淬火工序(S50)为真空渗碳处理方法中公知的工序。

[0248] 如图4所示,淬火温度 T_s 低于渗碳温度 T_c 的情况下,将扩散工序(S40)后的钢材冷却至淬火温度 T_s 为止。此时的冷却速度没有特别限定。若考虑真空渗碳处理工序的处理时间,冷却速度越快越优选。优选冷却速度为 $0.02 \sim 30.00^\circ\text{C}/\text{秒}$ 。在此所谓的冷却速度是指将渗碳温度 T_c 与淬火温度 T_s 的温度差除以冷却时间得到的值。

[0249] 使淬火温度 T_s 低于渗碳温度 T_c 时的钢材的冷却方法使用公知的冷却方法即可。例如,可以在真空下将钢材放置冷却来进行冷却,或者也可以通过气体冷却来冷却钢材。对在真空下的钢材进行放置冷却的情况下,优选以100Pa以下的压力进行放置冷却。在冷却中使用气体冷却对钢材进行冷却的情况下,优选使用非活性气体作为冷却气体。作为非活性气体,例如优选使用氮气和/或氩气。作为非活性气体,特别是优选使用可以廉价获得的氮气。使用非活性气体作为冷却气体,从而可以抑制钢材的氧化。

[0250] 以淬火温度 T_s 将钢材保持规定时间之后,将钢材骤冷。淬火温度 T_s 若为 A_3 相变点(A_{r3} 相变点)以上则没有特别限定。淬火温度 T_s 的优选下限为 800°C ,进一步优选为 820°C ,进一步优选为 850°C 。淬火温度 T_s 的优选上限为 1130°C ,进一步优选为 1100°C ,进一步优选为 950°C ,进一步优选为 900°C ,进一步优选为 880°C 。

[0251] 作为淬火工序(S50)中的骤冷方法使用公知的骤冷方法。骤冷方法例如为气冷、水冷、油冷。

[0252] 实施以上的真空渗碳处理方法,将钢材制成渗碳部件。本实施方式的真空渗碳处理方法中,使用对成为真空渗碳处理的对象的钢材的、理论渗碳气体流量 FT 。并且,将渗碳工序(S30)以渗碳工序开始后乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上的最初的时间分为前期渗碳工序S1和后期渗碳工序S2。并且,以在前期渗碳工序S1中满足条件I、且在后期渗碳工序S2中满足条件II和条件III的方式,调整实际渗碳气体流量 FR 。由此,在真空渗碳处理后的

钢材中,可以抑制发生渗碳分布不均的情况。

[0253] 需要说明的是,本实施方式的真空渗碳处理方法可以还包括其他的工序。例如,真空渗碳处理方法也可以在淬火工序(S50)后包括回火工序。回火工序在公知的条件下实施即可。例如,在回火工序中,以 A_{c1} 相变点以下的温度将钢材保持规定时间,之后进行冷却。

[0254] 另外,本实施方式的真空渗碳处理方法中,可以重复实施多次渗碳工序(S30)和扩散工序(S40)。该情况下,如上述,在每个各渗碳工序(S30)中,确定时间 t_a 和理论渗碳气体流量 FT 。

[0255] [渗碳部件的制造方法]

[0256] 本实施方式的渗碳部件的制造方法具备对钢材实施上述的真空渗碳处理方法来制造渗碳部件的工序。在通过以上的工序而制造的渗碳部件中,可以抑制渗碳分布不均。

[0257] 实施例

[0258] 以下,利用实施例更具体地说明本实施方式的真空渗碳处理方法的效果。以下的实施例中的条件是为了确认本实施方式的真空渗碳处理方法的实施可能性以及效果而采用的一个条件例子。因此,本实施方式的真空渗碳处理方法并不限于该一个条件例子。

[0259] 准备具有相当于JIS G 4053(2008)所规定的SCM415的化学组成的机械结构用钢管(以下,称为钢管)、以及相当于SCM415的圆棒。各试验编号的钢管以及圆棒的C含量均为0.15质量%。钢管的直径为34mm,壁厚为4.5mm,长度为110mm。圆棒的直径为26mm,长度为70mm。真空渗碳处理的评价以圆棒来进行,钢管作为用于调查圆棒在真空渗碳炉内的配置位置所产生的渗碳分布不均的样材来使用。

[0260] 将以各试验编号进行真空渗碳处理而成的圆棒以及钢管的总表面积(m^2)定义为钢材表面积(m^2)。钢材表面积利用以下的式子而求出。

[0261] 钢材表面积=每1个钢管的表面积×钢管个数+每1个圆棒的表面积×圆棒个数

[0262] 将得到的钢材表面积示于表1。试验编号1~5、10~13、15和16、18~21中,使用248根钢管和3根圆棒。试验编号6中,使用496根钢管和3根圆棒。试验编号7~9、14和17中,使用124根钢管和3根圆棒。

[0263] [表1]

[0264]

表 1

试验编号	渗碳温度 T _c (°C)	钢材表面积 (m ²)	气体流量经时变化图	结束 t _a (分钟)	前期渗碳工序 S1			后期渗碳工序 S2					渗碳浓度		渗碳分布不均	
					FT _{ta/10} (NL/分钟)	FT ₄ (NL/分钟)	FA (NL/分钟)	期间 t0~4t0		期间 4t0~ta			扩散时间 (分钟)	表层平均碳浓度 (mass%)	0.40 质量% 深度差 (mm)	
								时间 t0 (分钟)	时间 4t0 (分钟)	时间 t _s (分钟)	FR ≥ FA × √(t0/t) ?	FR ≤ 2FA × √(t0/t) ?				
1	950	5.4	9	51	6.4	55.7	22.8	0.27	1.08	0.40	是	是	103	0.697	0.013	0.02
2	950	5.4	10	51	6.4	55.7	15.8	0.33	1.32	1.20	是	是	103	0.688	0.011	0.02
3	950	5.4	10	51	6.4	55.7	11.2	0.47	1.88	1.67	是	是	103	0.688	0.023	0.03
4	950	5.4	10	51	6.4	55.7	10.2	0.73	2.93	2.87	是	是	103	0.685	0.026	0.04
5	950	5.4	9	51	6.4	55.7	7.2	4.50	18.00	5.80	是	是	103	0.681	0.026	0.04
6	900	10.9	10	79	8.4	91.2	16.6	0.80	3.20	2.90	是	是	97	0.688	0.015	0.01
7	1050	2.7	9	11	14.9	60.4	26.0	0.40	1.60	0.50	是	是	17	0.691	0.022	0.02
8	1050	2.7	9	11	14.9	60.4	15.6	1.30	5.20	1.40	是	是	17	0.682	0.028	0.02
9	900	2.7	9	79	4.2	22.8	19.3	0.20	0.80	0.27	是	是	97	0.695	0.022	0.02
10	950	5.4	9	51	6.4	55.7	11.2	1.75	7.00	2.00	是	是	103	0.692	0.021	0.04
11	950	5.4	9	51	6.4	55.7	11.2	1.68	6.73	2.00	是	是	103	0.695	0.024	0.03
12	950	5.4	9	51	6.4	55.7	11.2	1.68	6.73	2.00	是	是	103	0.694	0.028	0.04
13	950	5.4	11	51	6.4	55.7	5.4	-	-	10.24	-	-	103	0.650	0.026	0.04
14	1050	2.7	11	11	14.9	60.4	12.0	-	-	2.20	-	-	17	0.662	0.028	0.04
15	950	5.4	12	51	6.4	55.7	7.2	-	-	5.76	-	-	103	0.658	0.028	0.04
16	950	5.4	12	51	6.4	55.7	10.2	-	-	0.67	-	-	103	0.676	0.052	0.07
17	1050	2.7	12	11	14.9	60.4	15.6	-	-	1.20	-	-	17	0.632	0.052	0.07
18	950	5.4	13	51	6.4	55.7	11.2	0.47	1.88	2.38	是	否	103	0.697	0.037	0.04
19	950	5.4	14	51	6.4	55.7	4.8	-	-	-	-	-	103	0.699	0.023	0.08
20	950	5.4	15	51	6.4	55.7	11.2	0.50	2.00	1.80	否	是	103	0.662	0.058	0.08
21	950	5.4	16	51	6.4	55.7	11.2	0.50	2.00	1.87	是	否	103	0.691	0.039	0.05

[0265] 首先,实施使用扩散方程的扩散模拟,求出理论渗碳气体流量。具体而言,在圆棒以及钢管的厚度方向区分为2μm以上的多个单元。此外,将扩散模拟中的阶跃时间设为0.002~0.02秒。在钢管以及圆棒的化学组成(SCM415)中,利用热力学计算求出渗碳温度下

的表面处的与石墨的平衡状态下的平衡组成。进而,求出渗碳温度下的钢材内部的平衡组成、碳的化学势、以及碳的迁移率。热力学计算使用商品名Pandat(商标)。进而,数据库使用商品名PanFe(商标)。此外,碳的迁移率(m^2/s)使用以下的式子。

$$[0266] \quad m = 1.54 \times 10^{-15} \exp(-1.61 \times C - (17300 - 2920 \times C) / T)$$

[0267] 此处,式中的C为奥氏体中的固溶C浓度(质量%),T为渗碳温度(K)。

[0268] 在钢管以及圆棒的表面的碳浓度的目标值设为0.70质量%,距表面深度1.0mm处的碳浓度的目标值设为0.40质量%。将以上作为前提条件,在每一阶跃时间实施上述的(A)~(D)的扩散模拟,求出每一阶跃时间各自的理论渗碳气体流量 FT 。

[0269] 算出理论渗碳气体流量 FT 的结果为理论渗碳气体流量 FT 可以近似为以下的式子。

$$[0270] \quad FT = S \times A / \sqrt{t} \quad (6)$$

[0271] 此处,A为由式(7)定义的每 $1m^2$ 的渗碳气体流量(NL/分钟),t表示从渗碳开始时起的时间(分钟)。另外,S表示钢材表面积(m^2)。

$$[0272] \quad A = a \times T^2 + b \times T + c \quad (7)$$

[0273] 本实施例(SCM415)的情况下,为 $a = 8.64 \times 10^{-5}$ 、 $b = -0.141$ 、 $c = 59.0$ 。

[0274] 算出理论渗碳气体流量 FT 之后,用以下的方法实施实际的真空渗碳处理。首先,准备由充分地渗碳处理的不锈钢钢材(JIS G 4303(2012)中规定的SUS316)形成的笼。笼中以立起的状态使上述根数的钢管均匀地排列,进而将3个圆棒以立起的状态配置在笼中央、笼左前方、笼右后方。如上所述,将圆棒作为试验材,钢管作为用于确认圆棒的配置位置引起的渗碳分布不均的发生的样材。

[0275] 将配置有钢材(钢管以及圆棒)的笼插入到真空渗碳炉中,实施真空渗碳处理。然后,得到试验编号1~21的渗碳部件。真空渗碳处理中的条件如表1所示。

[0276] 具体而言,在各试验编号中,如下地实施真空渗碳处理。各试验编号中的真空渗碳处理将炉内的压力保持在10Pa以下。在加热工序中,将各试验编号的圆棒加热至表1中示出的渗碳温度 T_c 。在加热工序后,实施均热工序。在均热工序中,以渗碳温度 T_c 将钢材(圆棒)保持60分钟。

[0277] 在均热工序后,实施渗碳工序。在渗碳工序中,在真空渗碳炉内作为渗碳气体供给乙炔。渗碳工序中的渗碳气压保持在1kPa以下。渗碳工序的结束时间 t_a (分钟)如表1中记载所述。

[0278] 如上述,将圆棒的1.0mm深度处的碳浓度为0.40质量%作为目标,调整渗碳工序中的渗碳时间和扩散工序中的扩散时间。

[0279] 需要说明的是,在渗碳工序中,用四级杆质谱仪分析真空渗碳炉内的气氛中的气体,持续地测定氢分压和乙炔分压。将氢的质荷比(m/z)设为2、乙炔的质荷比设为26。分析时间为0.5秒,分析间隔为4秒。基于所求出的氢分压和乙炔分压,求出时间 t_0 (乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上最初的时间)。

[0280] 各试验编号的实际渗碳气体流量的经时变化如图9~16所示。以下,对于试验编号1~21的实际渗碳气体流量 FR 的设定值,用图9~图16进行说明。

[0281] 图9为示出试验编号1、5、7~12的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量 FR 的经时变化的图。参照图9,试验编号1、5、7~12中,使渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量 FR 为 FA 。 FA 为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。超过时间 t_0 且至达到时间 $4t_0$ 前的时间 t_s 为止,使实际

渗碳气体流量FR恒定为FA。时间ts后,以曲线C2($=FA \times \sqrt{(ts/t)}$)逐渐减少实际渗碳气体流量。其结果,实际渗碳气体流量FR在前期渗碳工序S1中为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。另外,在后期渗碳工序S2中时间t0~时间4t0的期间的实际渗碳气体流量FR为 $FA \sqrt{(t0/t)}$ 以上且FA以下。进而,时间4t0~时间ta的实际渗碳气体流量FR为 $FA \sqrt{(t0/t)}$ 以上且 $2FA \sqrt{(t0/t)}$ 以下。

[0282] 图10为示出试验编号2~4、6的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图10,试验编号2~4、6中,使渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR为FA。FA为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。超过时间t0且至达到时间4t0前的时间ts为止,使实际渗碳气体流量FR恒定为FA。需要说明的是,图10的时间t0~时间4t0的期间的时间ts是比图9的时间t0~时间4t0的期间的时间ts还晚的时刻。时间ts后,实际渗碳气体流量FR以曲线C2($=FA \times \sqrt{(ts/t)}$)逐渐减少。其结果,实际渗碳气体流量FR在前期渗碳工序S1中为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。另外,后期渗碳工序S2中时间t0~时间4t0的期间的实际渗碳气体流量FR为 $FA \sqrt{(t0/t)}$ 以上且FA以下。进而,时间4t0~时间ta的实际渗碳气体流量FR为 $FA \sqrt{(t0/t)}$ 以上且 $2FA \sqrt{(t0/t)}$ 以下。

[0283] 图11为示出试验编号13和14的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图11,试验编号13和14中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR即FA低于 $FT_{ta/10}$ 。并且,比时间ta/10还晚的时间ts时,与理论渗碳气体流量FT同样地逐渐减少实际渗碳气体流量FR。需要说明的是,在渗碳工序中,真空渗碳炉内的乙炔分压不成为氢分压的0.8倍以上。因此,在真空渗碳处理中,不确定t0。

[0284] 图12为示出试验编号15~17的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图12,试验编号15~17中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR即FA为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。然而,乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上前的时间ts时,实际渗碳气体流量FR的逐渐减少开始,以实际渗碳气体流量FR成为 $FA \times \sqrt{(ts/t)}$ 的方式进行调整。因此,在渗碳工序中,真空渗碳炉内的乙炔分压不成为氢分压的0.8倍以上。因此,在真空渗碳处理中,不确定t0。

[0285] 图13为示出试验编号18的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图13,试验编号18中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR即FA为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。并且,超过时间t0且至超过时间4t0的时间ts为止,使实际渗碳气体流量FR恒定为FA。时间ts后,以曲线C2($=FA \times \sqrt{(ts/t)}$)逐渐减少实际渗碳气体流量FR。其结果,实际渗碳气体流量FR在前期渗碳工序S1中为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下,在后期渗碳工序S2中时间t0~时间4t0的期间的实际渗碳气体流量FR为 $FA \sqrt{(t0/t)}$ 以上且FA以下。然而,时间4t0~时间ta的实际渗碳气体流量FR超过 $2FA \sqrt{(t0/t)}$ 。

[0286] 图14为示出试验编号19的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图14,试验编号19中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR即FA低于 $FT_{ta/10}$ 。进而,使之后的实际渗碳气体流量FR恒定为FA。试验编号19中,在渗碳工序中,真空渗碳炉内的乙炔分压不成为氢分压的0.8倍以上。因此,在真空渗碳处理中,不确定t0。

[0287] 图15为示出试验编号20的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量FR的经时变化的图。参照图15,试验编号20中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量FR即FA为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。并且,超过时间t0且至低于时间4t0的时间ts为止,使实际渗碳气体流量FR

恒定为FA。时间 t_s 后,用低于时间 t_s 时的理论渗碳气体流量 FT 的 FB (参照图15),以曲线 C_2 ($=FB \times \sqrt{(t_s/t)}$)逐渐减少实际渗碳气体流量 FR 。其结果,对于实际渗碳气体流量 FR ,后期渗碳工序S2中实际渗碳气体流量 FR 低于 $FA \sqrt{(t_0/t)}$ 。

[0288] 图16为示出试验编号21的渗碳工序中的、实际渗碳气体流量 FR 的经时变化的图。参照图16,试验编号21中,渗碳工序开始时间($t=0$)时的实际渗碳气体流量 FR 即 FA 为 $FT_{t_a/10}$ 以上且 FT_4 以下。并且,超过时间 t_0 且至低于时间 $4t_0$ 的时间 t_s 为止,使实际渗碳气体流量 FR 恒定为 FA 。时间 t_s 后,降低实际渗碳气体流量 FR 。然而,从时间 $4t_0$ 至时间 t_a 为止的期间,存在有实际渗碳气体流量 FR 超过 $2FA \sqrt{(t_0/t)}$ 的期间。

[0289] 需要说明的是,实际渗碳气体流量的调整以及测定使用流量计(Cofflock Co., Ltd.制,商品名:Mass flow controller D3665)来实施。

[0290] 在渗碳工序后,以表1中示出的扩散时间(分钟)对圆棒实施扩散工序,使侵入到圆棒的碳扩散到圆棒中。在维持渗碳温度的状态下,以10Pa以下的炉内压力实施扩散工序。扩散时间(分钟)如表1所示。

[0291] 需要说明的是,表1中的“ $FT_{t_a/10}$ ”栏中记载的是,时间 $t_a/10$ 时的理论渗碳气体流量(NL/分钟)。“ FT_4 ”栏中记载的是,自渗碳工序开始4秒起时刻时的理论渗碳气体流量(NL/分钟)。“时间 t_0 (分钟)”栏中记载的是,时间 t_0 (分钟)。“时间 $4t_0$ (分钟)”栏中记载的是,时间 $4t_0$ (分钟)。“时间 t_s (分钟)”栏中记载的是,实际渗碳气体流量 FR 的逐渐减少开始的时间 t_s (分钟)。“ $FR \geq FA \times \sqrt{(t_0/t)}$?”栏中记载的是,在时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a ,实际渗碳气体流量是否为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上。为“是”的情况下,表示实际渗碳气体流量 FR 为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上。为“否”的情况下,表示实际渗碳气体流量 FR 低于 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 。“ $FR \leq 2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$?”栏中记载的是,在时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a ,实际渗碳气体流量 FR 是否为 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。为“是”的情况下,表示实际渗碳气体流量 FR 为 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。为“否”的情况下,表示实际渗碳气体流量 FR 超过 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 。“扩散时间(分钟)”表示扩散工序中的扩散时间(分钟)。

[0292] 在扩散工序后,将圆棒冷却至 860°C 为止。然后,以淬火温度(860°C)保持30分钟。保持之后,将圆棒浸渍于 120°C 的油中,实施油淬火。对于淬火后的圆棒实施回火。将回火温度设为 170°C ,将回火温度下的保持时间设为2小时。

[0293] 通过以上的制造工序,实施真空渗碳处理,制造渗碳部件(圆棒)。

[0294] [评价试验]

[0295] 测定各试验编号的渗碳部件(圆棒)的表层的碳浓度和碳浓度达到0.40质量%的深度(以下,称为渗碳深度),评价渗碳分布不均。

[0296] [渗碳部件的表层的碳浓度测定试验]

[0297] 对于插入到真空渗碳炉之中的状态的各试验编号的渗碳部件(圆棒),从上端面起在渗碳部件的长度方向截断20mm的范围、以及从下端面起在渗碳部件的长度方向截断5mm的范围。以下,将从上端面起20mm的范围称为“上端面试验片”,将从下端面起5mm范围的部分称为“下端部分”。

[0298] 对于上端面试验片以及下端部分被截断的剩余部分(以下,称为主体部分)的圆周面实施车削加工。在车削加工中,每0.05mm深度间距采取从圆棒的表面至0.30mm深度为止的表层部分的切粉。测定所采取的0.05mm间距的各深度位置处的切粉的碳浓度。通过以上工序,对于各试验编号的3个渗碳部件(笼的中央位置、笼的左前方位置、以及笼右后方位

置)的从表面至0.30mm深度为止的表层区域中,求出0.05mm间距下的碳浓度。将配置在笼中央位置的渗碳部件的从表面至0.30mm为止的6个碳浓度从表面开始依次定义为碳浓度A1~A6(质量%)。将配置在笼左前方位置的渗碳部件的从表面至0.30mm为止的6个碳浓度从表面开始依次定义为碳浓度B1~B6(质量%)。将配置在笼右后方位置的渗碳部件的从表面至0.30mm为止的6个碳浓度从表面开始依次定义为碳浓度C1~C6(质量%)。并且,求出3个渗碳部件中在相同的深度位置所得到的碳浓度的最大值与最小值之差。具体而言,从表面至0.05mm深度位置为止的区域的碳浓度A1、B1、C1之中,选择最大值和最小值,将它们的碳浓度的差额值定义为 $\Delta 1$ 。同样地,距表面0.05mm深度位置~距表面0.10mm深度位置的区域的碳浓度A2、B2、C2之中,选择最大值和最小值,将它们的碳浓度的差额值定义为 $\Delta 2$ 。通过以上的工序,求出 $\Delta 1 \sim \Delta 6$,将 $\Delta 1 \sim \Delta 6$ 的算术平均值定义为“表层碳浓度差”(质量%)。将所得到的结果记载在表1的“表层碳浓度差(质量%)”栏中。

[0299] 进而,将碳浓度A1~A6、B1~B6、C1~C6的全部算术平均值定义为表层平均碳浓度(质量%)。将所得到的结果记载在表1的“表层平均碳浓度(质量%)”栏中。

[0300] [渗碳深度测定试验]

[0301] 使用上述的上端面试验片,测定圆周面的表层部的碳浓度。具体而言,对于上端面试验片的距上端面20mm位置的横截面(与上端面试验片的长度方向垂直的截面)的碳浓度,从距表面2mm深度位置起朝向表面沿径向测定。具体而言,实施利用EPMA(电子射线显微分析仪)的线分析,测定径向(深度方向)的碳浓度。基于测定结果,分别对于3个上端面试验片,求出碳浓度达到0.40质量%以上的区域的深度(以下,称为渗碳深度)。将由各上端面试验片得到的渗碳深度的最大值与最小值之差的平均定义为“0.40质量%深度差”(mm)。将所得到的结果记载于表1的“0.40质量%深度差(mm)”栏中。

[0302] [评价结果]

[0303] 参照表1,将表层碳浓度差为0.030质量%以下、并且0.40质量%深度差为0.05mm以下的情况作为渗碳分布不均小的真空渗碳处理方法评价为优异。

[0304] 参照表1,试验编号1~试验编号12中,在前期渗碳工序S1中,实际渗碳气体流量FR为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下。进而,在后期渗碳工序S2中,在时间 $t_0 \sim 4t_0$ 的期间,实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且FA以下。进而,在后期渗碳工序S2中,在时间 $4t_0 \sim$ 时间 t_a 的期间,实际渗碳气体流量FR为 $FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以上且 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 以下。因此,表层的平均碳浓度为0.680质量%以上,表层碳浓度差为0.030质量%以下,且0.40质量%深度差为0.05mm以下。亦即,渗碳部件的渗碳分布不均小。

[0305] 另一方面,试验编号13和14中,如图11和表1所示,前期渗碳工序中的实际渗碳气体流量(FA)低于 $FT_{ta/10}$ 。因此,表层平均碳浓度低于0.680质量%,渗碳未充分进行。

[0306] 试验编号15~17中,如图12和表1所示,渗碳开始时的实际渗碳气体流量(FA)为 $FT_{ta/10}$ 以上且 FT_4 以下,但是在乙炔分压成为氢分压的0.8倍以上前,逐渐减少实际渗碳气体流量FR。因此,表层平均碳浓度低于0.680质量%,渗碳未充分进行。

[0307] 试验编号18中,如图13和表1所示,逐渐减少实际渗碳气体流量FR的时间 t_s 比时间 $4t_0$ 还靠后。其结果,逐渐减少后的实际渗碳气体流量FR超过 $2FA \times \sqrt{(t_0/t)}$ 。其结果,表层碳浓度差超过0.030质量%,渗碳部件的渗碳分布不均大。

[0308] 试验编号19中,如图14和表1所示,实际渗碳气体流量FR恒定至低于 $FT_{ta/10}$ 的值FA。

因此,0.40质量%深度差超过0.05mm,渗碳部件的渗碳分布不均大。

[0309] 试验编号20中,如图15和表1所示,渗碳开始时的实际渗碳气体流量的值 F_A 为 $FT_{t_a/10}$ 以上且 FT_4 以下,但是在时间 $t_0 \sim t_a$ 的期间,存在有实际渗碳气体流量 F_R 成为低于 $F_A \times \sqrt{(t_0/t)}$ 的期间。因此,表层平均碳浓度低于0.680质量%,渗碳未充分进行。进而,表层碳浓度差超过0.030质量%,0.40质量%深度差超过0.05mm,渗碳部件的渗碳分布不均大。

[0310] 试验编号21中,如图16和表1所示,渗碳开始时的实际渗碳气体流量的值 F_A 为 $FT_{t_a/10}$ 以上且 FT_4 以下,但是在时间 $t_0 \sim t_a$ 的期间,存在有实际渗碳气体流量 F_R 超过 $2F_A \times \sqrt{(t_0/t)}$ 的期间。因此,表层碳浓度差超过0.030质量%,渗碳部件的渗碳分布不均大。

[0311] 以上,说明了本发明的实施方式。然而,上述的实施方式只是用于实施本发明的示例。因此,本发明并不受到上述实施方式的限定,只要在不脱离本发明宗旨的范围内,可将上述实施方式适当变更而实施。

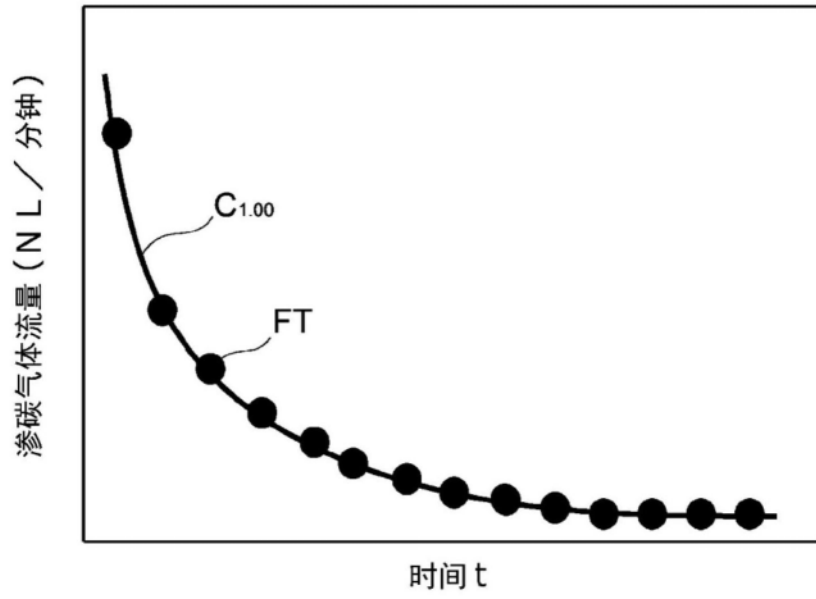


图1

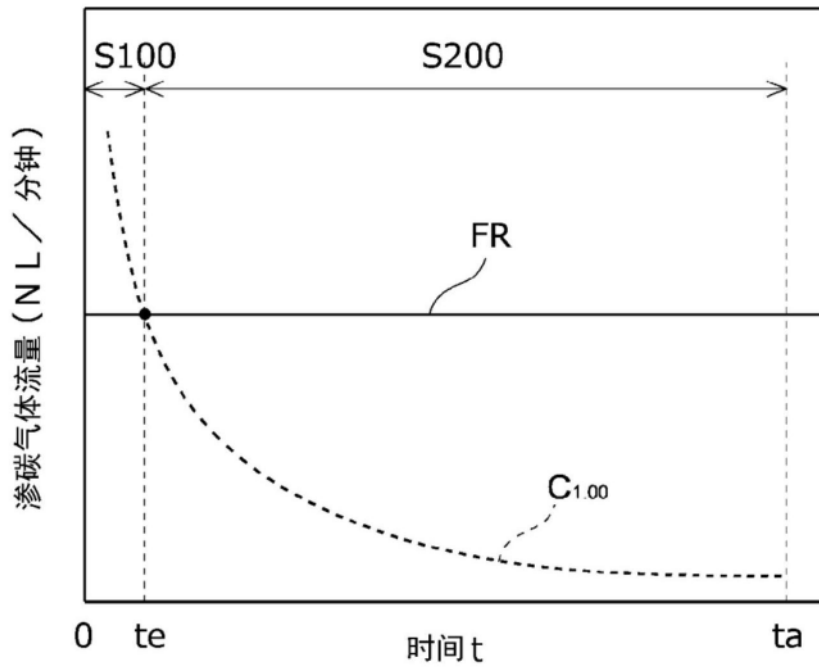


图2

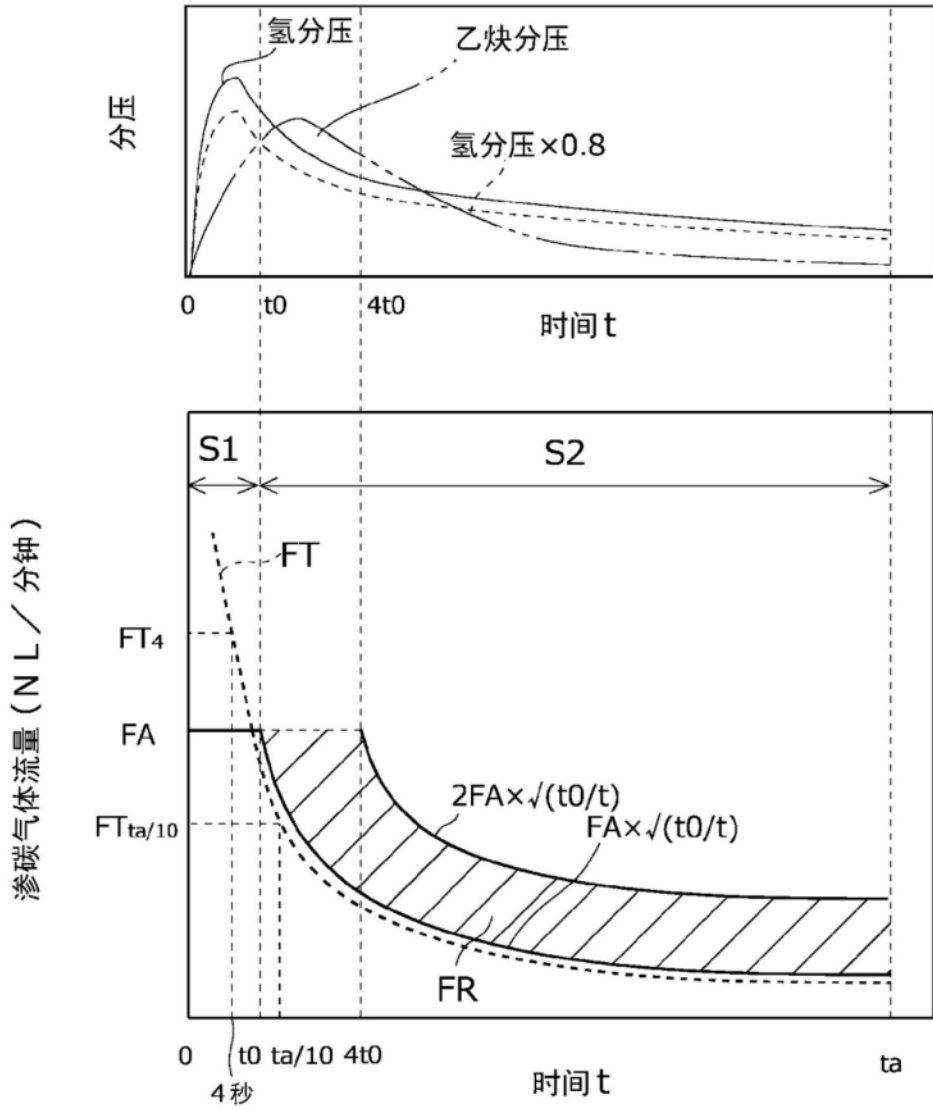


图3

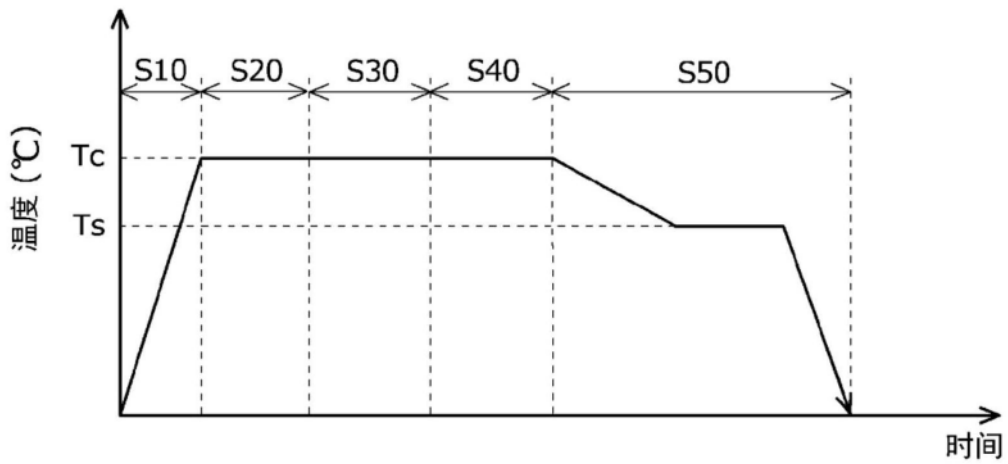


图4

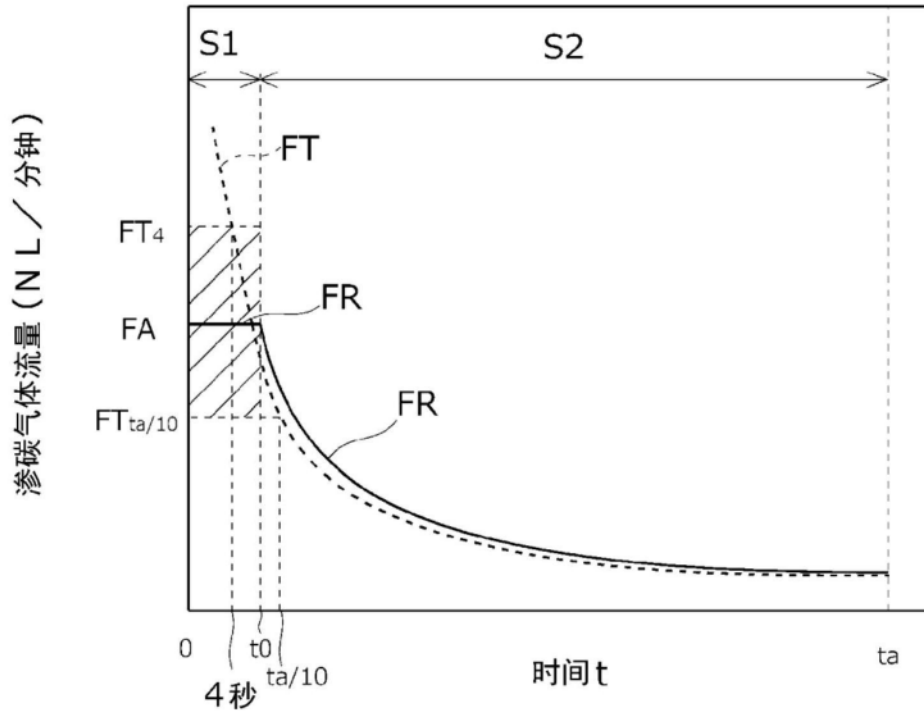


图5

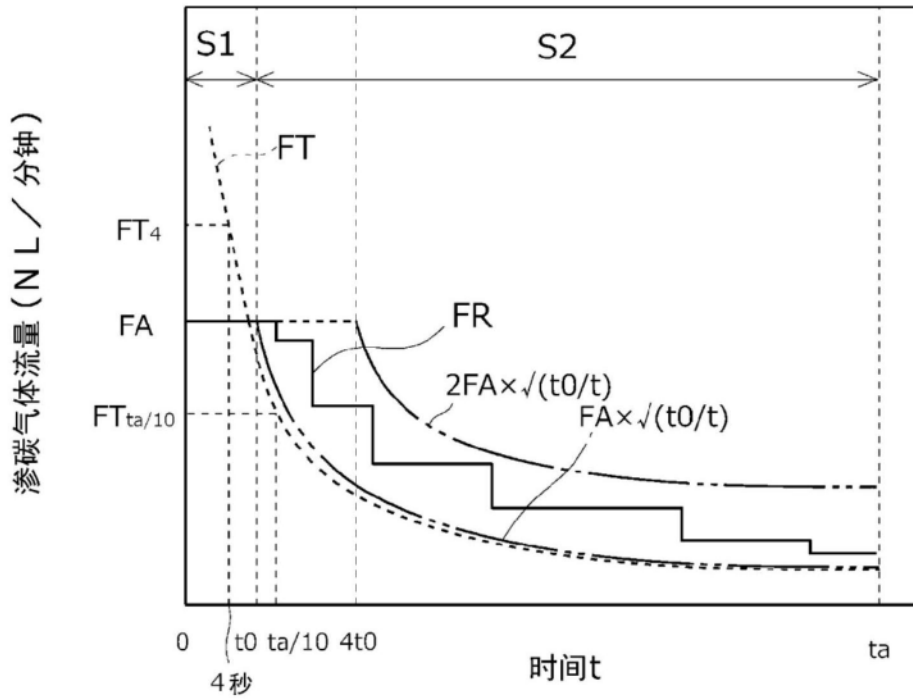


图6

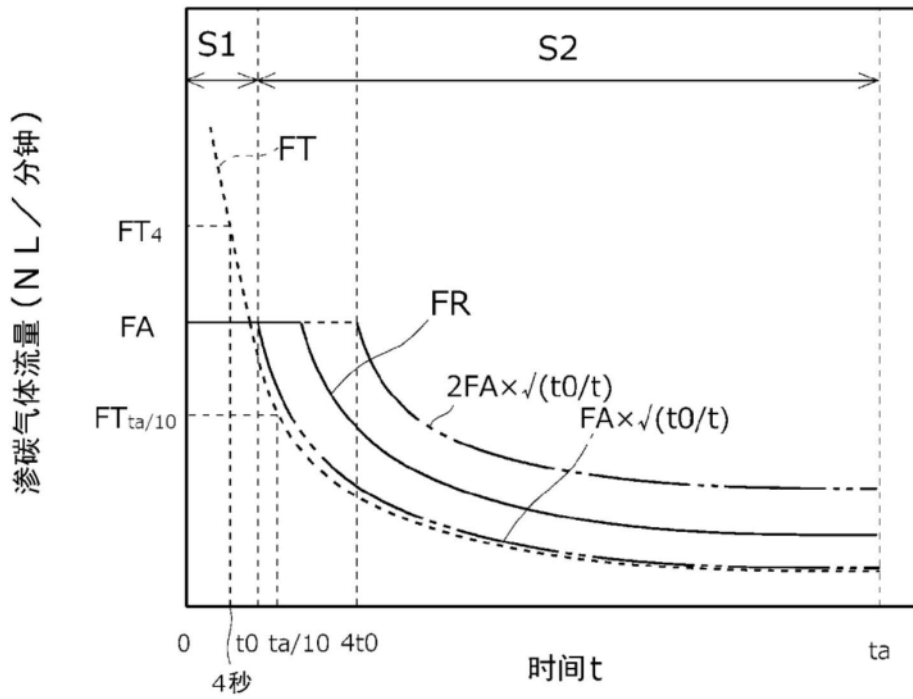


图7

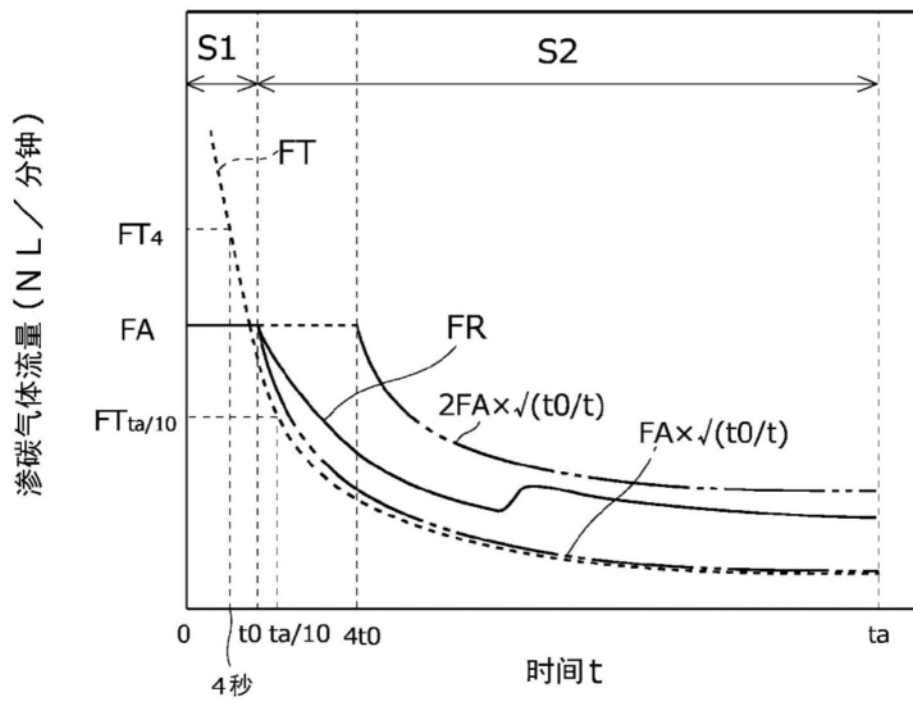


图8

试验编号 1,5,7~12

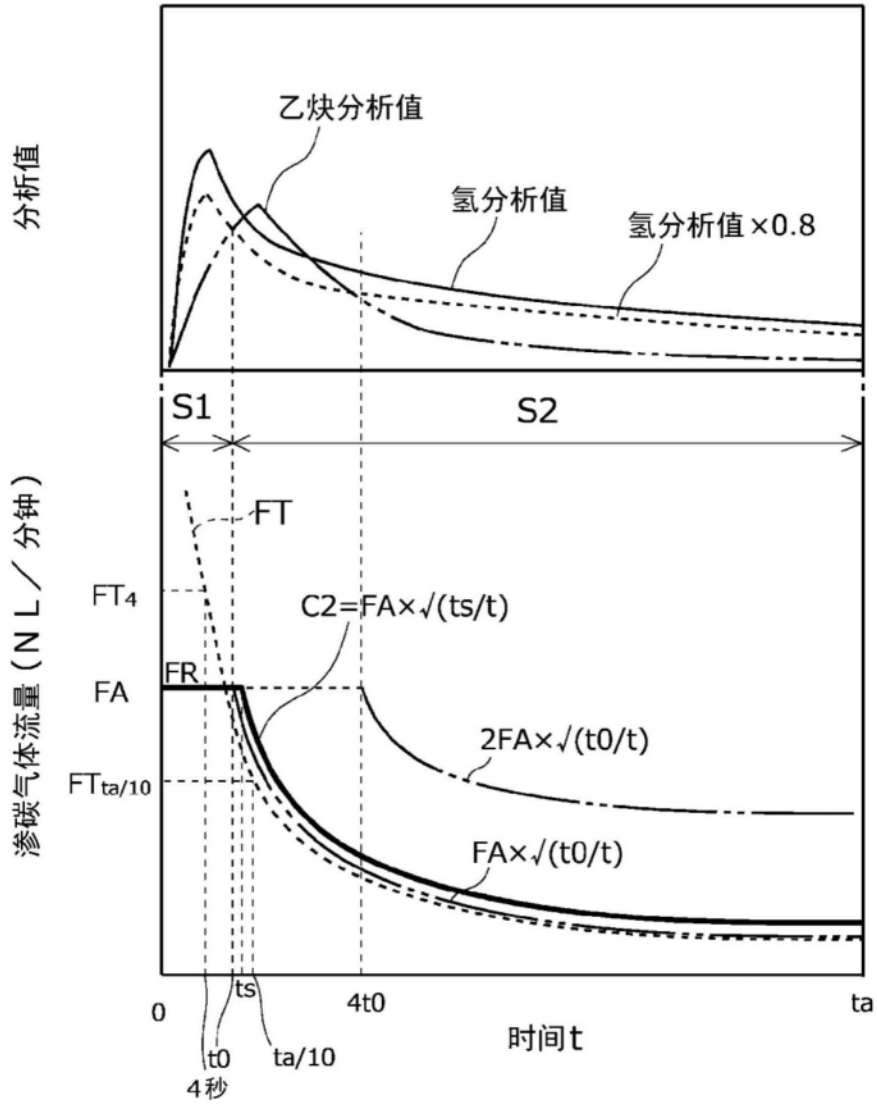


图9

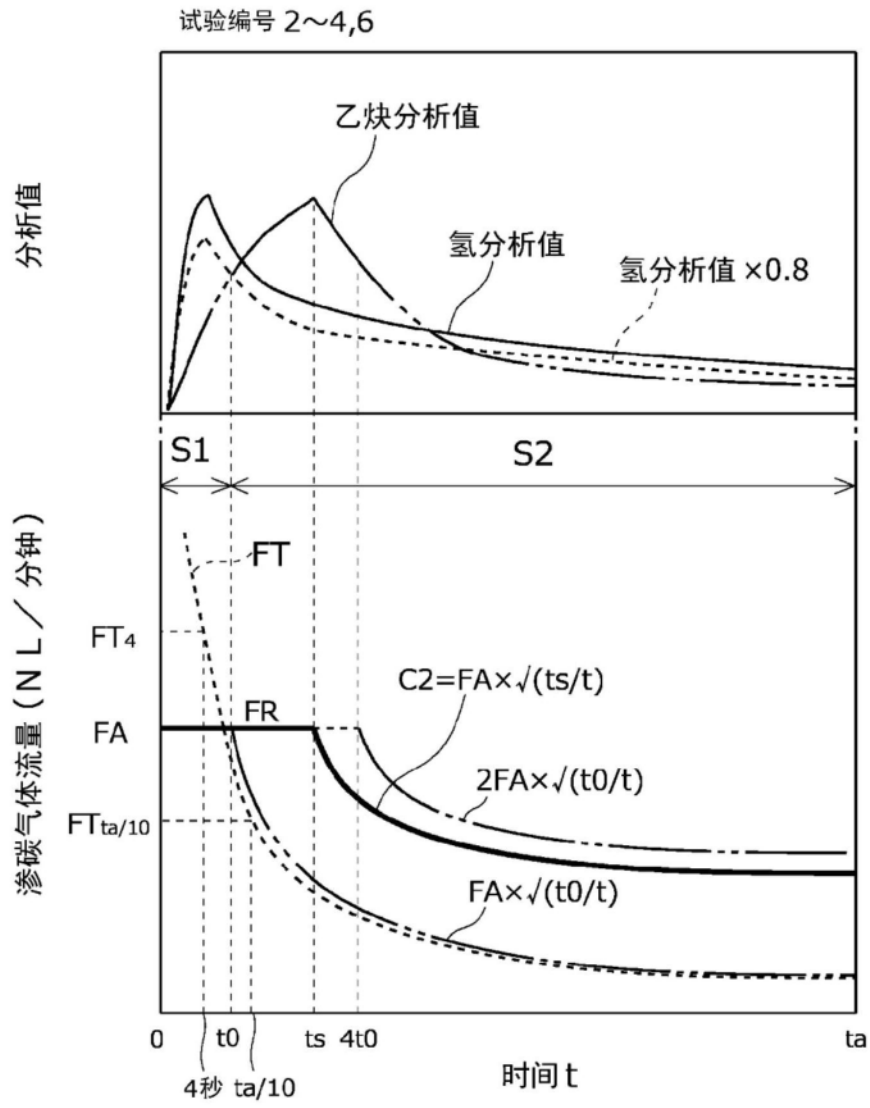


图10

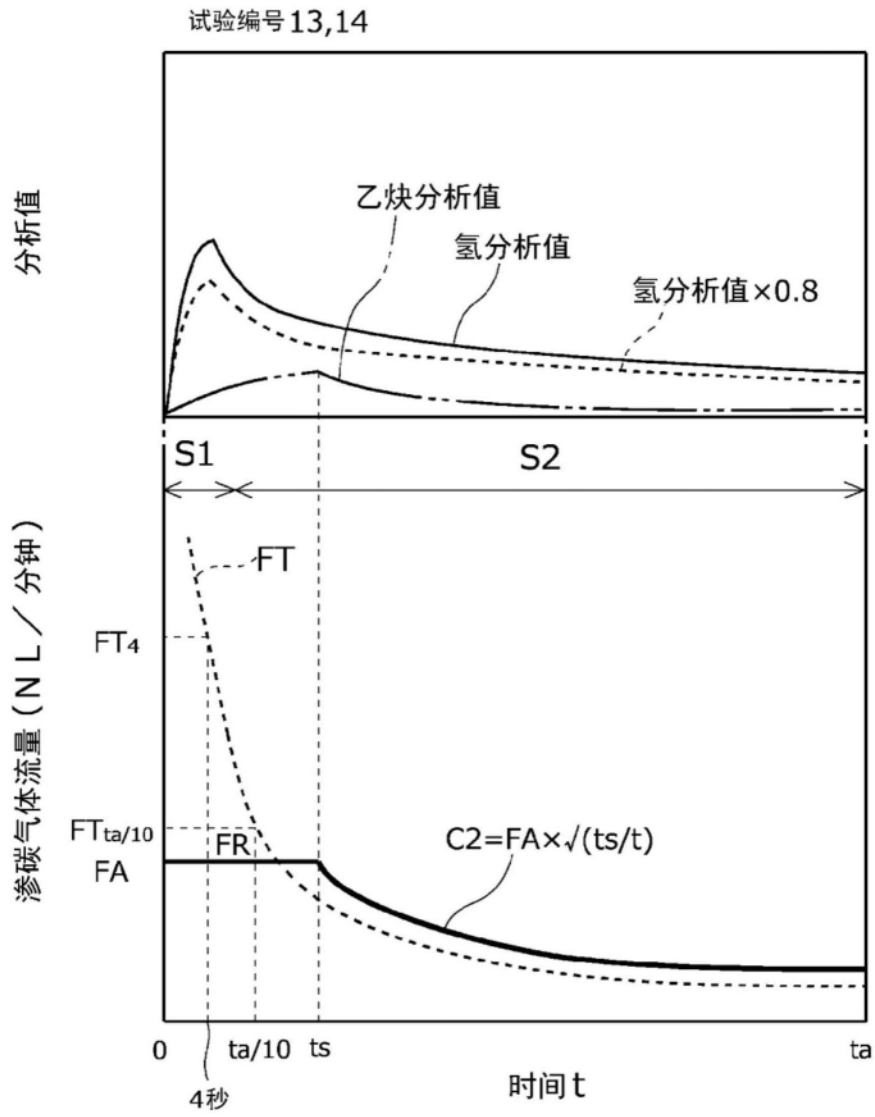


图11

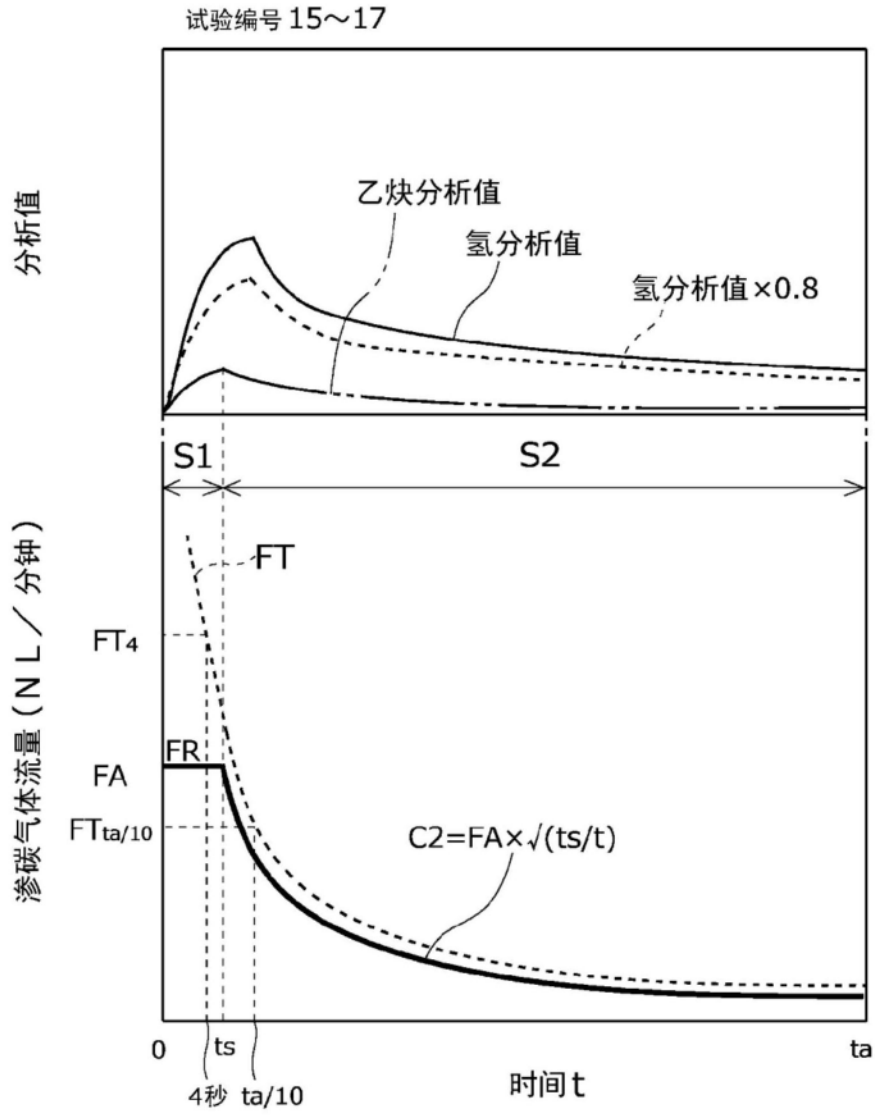


图12

试验编号 18

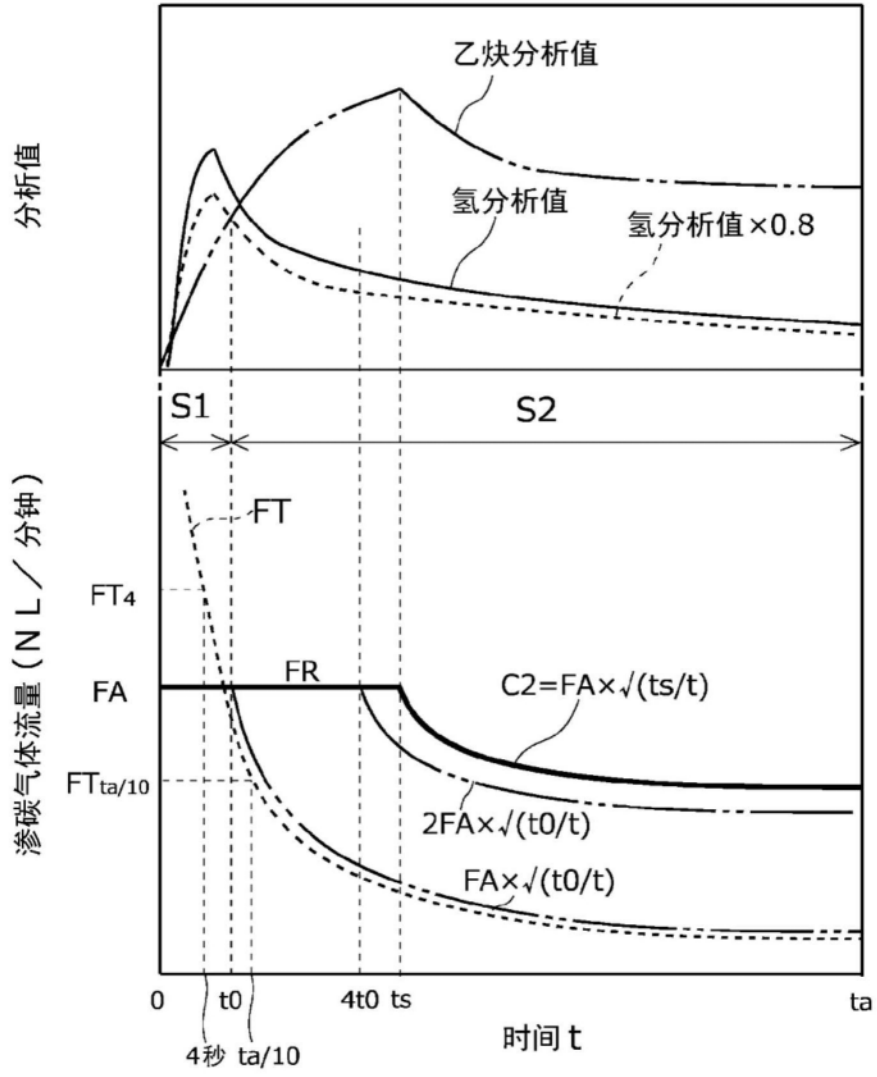


图13

试验编号19

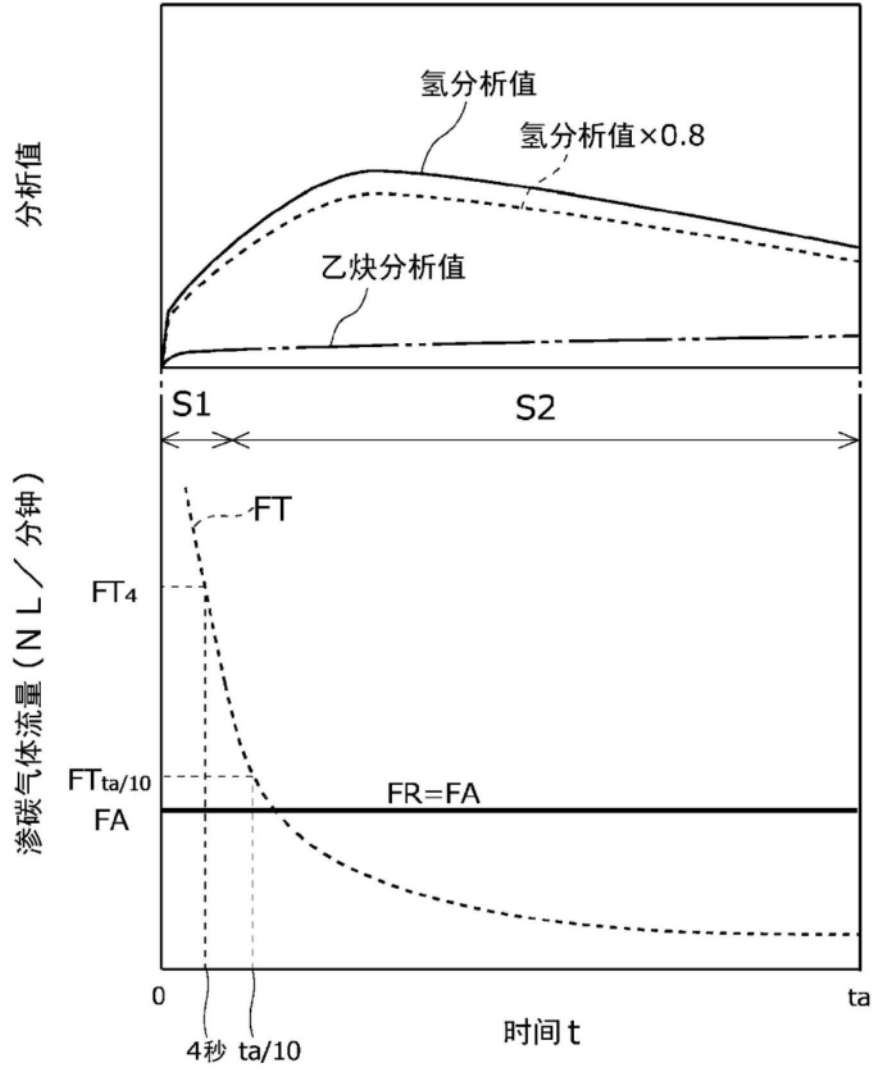


图14

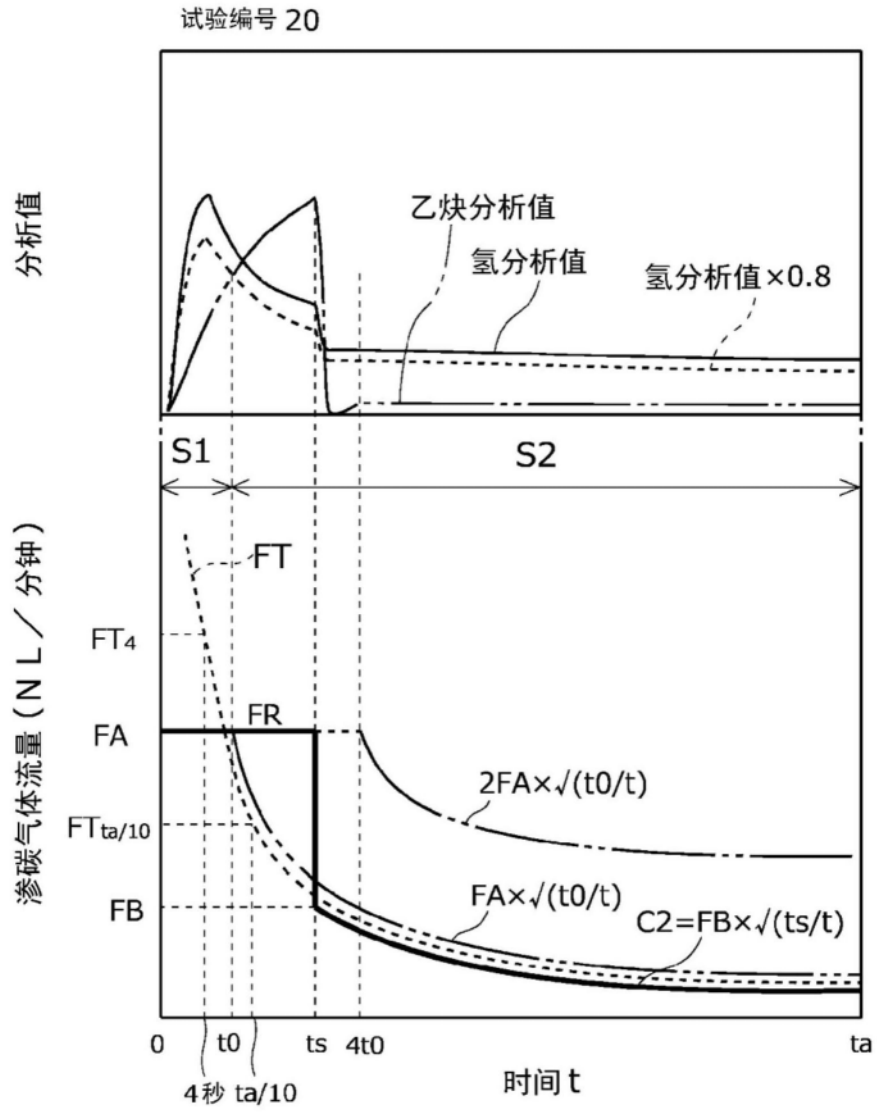


图15

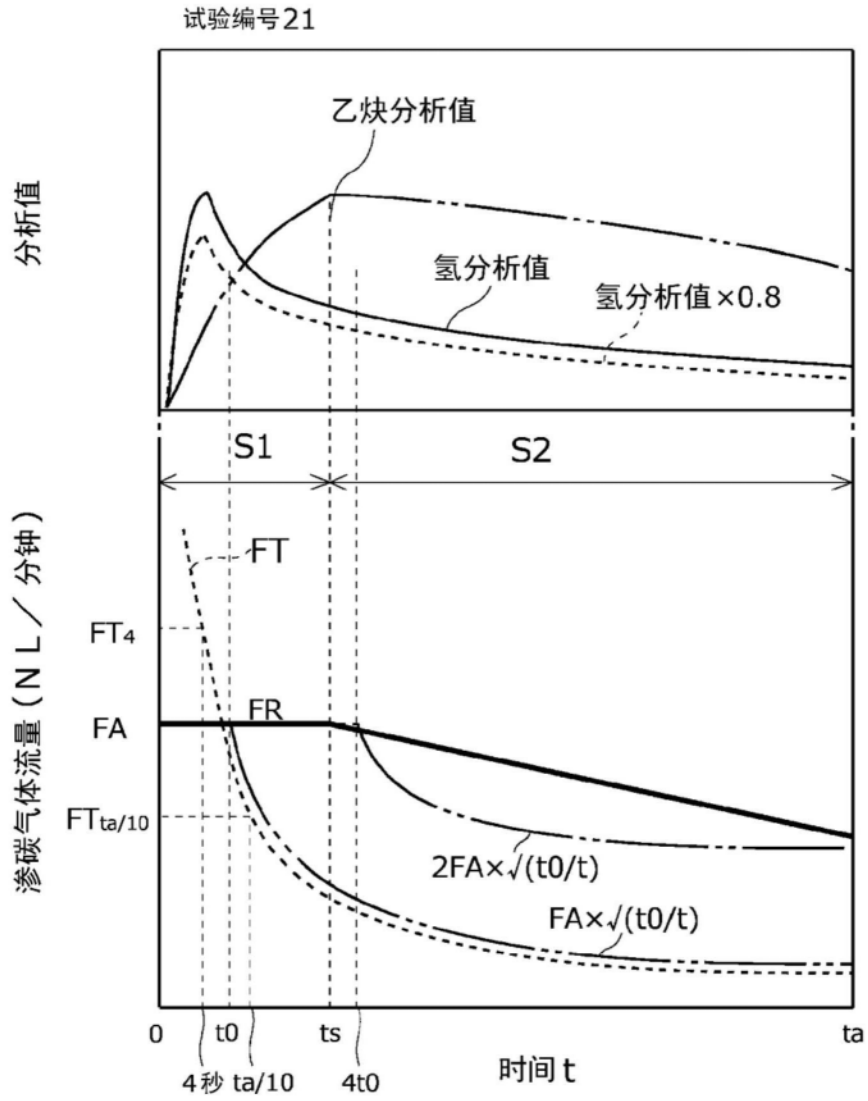


图16