(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116917529 A
(43)申请公布日 2023.10.20

(21)申请号 202280014939.6
(22)申请日 2022.02.16
(30)优先权数据
2021-023129 2021.02.17 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.08.14
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/006065 2022.02.16
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/176878 JA 2022.08.25
(71)申请人 帕卡热处理工业株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 平冈泰
(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 于洁 武胜
(51)Int.Cl.
C23C 8/26(2006.01)

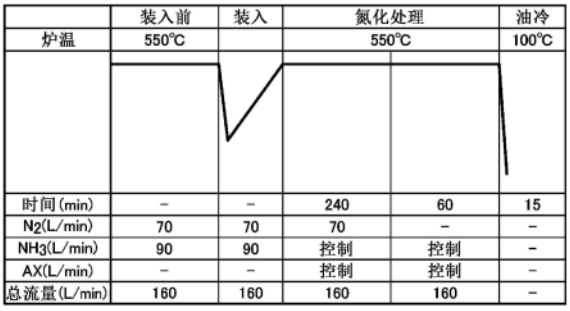
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

(54)发明名称

钢部件的氮化处理方法

(57)摘要

一种具备至少两个阶段的氮化处理工序的钢部件的氮化处理方法，其具备：第1氮化处理工序，在第1氮势的氮化气体气氛中，对钢部件进行氮化处理；以及第2氮化处理工序，在第1氮化处理工序之后，在低于第1氮势的第2氮势的氮化气体气氛中，进一步对所述钢部件进行氮化处理。第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施，第1氮势为0.300～10.000的范围内的值，第2氮势为0.253～0.600的范围内的值。



	装入前	装入	氮化处理		油冷
炉温	550℃		550℃		100℃
时间(min)	-	-	240	60	15
N_2(L/min)	70	70	70	-	-
NH_3(L/min)	90	90	控制	控制	-
AX(L/min)	-	-	控制	控制	-
总流量(L/min)	160	160	160	160	-

CN 116917529 A

1.一种氮化处理方法,其是具备至少两个阶段的氮化处理工序的钢部件的氮化处理方法,其特征在于,

该氮化处理方法具备:

第1氮化处理工序,在第1氮势的氮化气体气氛中,对钢部件进行氮化处理;以及

第2氮化处理工序,在所述第1氮化处理工序之后,在低于所述第1氮势的第2氮势的氮化气体气氛中,进一步对所述钢部件进行氮化处理,

所述第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施,

所述第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施,

所述第1氮势为0.300～10.000的范围内的值,

所述第2氮势为0.253～0.600的范围内的值,

在所述第1氮化处理工序中,生成γ'相、ε相或γ'相与ε相混在的氮化化合物层,

在所述第2氮化处理工序中,在所述氮化化合物层中析出γ'相。

2.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一间歇型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变NH_3气体和AX气体各自的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

3.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变NH_3气体和AX气体各自的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

4.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一间歇型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

5.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮

势。

6.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

7.如权利要求1所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施,

在所述第1氮化处理工序中,使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体,在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势,

在所述第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

8.如权利要求1至7中任一项所述的氮化处理方法,其特征在于,

所述第1氮化处理工序的时间长于所述第2氮化处理工序的时间。

钢部件的氮化处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及钢部件的氮化处理方法，其具备至少两个阶段的氮化处理工序。

背景技术

[0002] 对于在汽车用的变速器中使用的齿轮等钢部件，要求高的耐点蚀性和弯曲疲劳强度。为了应对这样的要求，作为使齿轮等钢部件强化的方法，已知有渗碳处理、氮化处理。

[0003] 例如在日本特愿2012-095035号公报(专利文献1)中公开了如下内容：为了提高钢部件的耐点蚀性、弯曲疲劳强度，通过氮化处理在钢部件的表面生成以γ’相为主要成分的铁氮化合物层是有效的。

[0004] 另外，在日本专利第6378189号公报(专利文献2)中公开了一种氮化处理方法，其中，为了抑制大量生产时的偏差，进行在生成γ’相或ε相的氮化化合物层的氮势的氮化气体气氛中对所述钢部件进行氮化处理的第1氮化处理工序，然后进行在低于所述第1氮化处理工序的氮势的氮化气体气氛中对所述钢部件进行氮化处理的第2氮化处理工序，由此使γ’相在所述氮化化合物层中析出。具体而言，作为实施例记载了使用NH_3气体和H_2气体这两种气体在600℃的温度下实施的气体氮化处理。更具体而言，在600℃的温度下，对于第1氮化处理工序中的氮势采用了0.6～1.51的范围，对于第2氮化处理工序中的氮势采用了0.16～0.25的范围。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1：日本特愿2012-095035号公报

[0008] 专利文献2：日本专利第6378189号公报

发明内容

[0009] 发明所要解决的课题

[0010] 本发明人在对日本专利第6378189号公报(专利文献2)所公开的氮化处理方法进一步反复研究的过程中发现，在500℃～590℃这一温度范围内，使第2氮化处理工序中的氮势大于0.25时，使γ’相在氮化化合物层中析出的效果更高。

[0011] 根据本发明人的发现，在氮化化合物层中析出γ’相的作用(反应)受到氮势和炉内温度这二者的影响，在500℃～590℃这一温度范围内，若使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下，则硬度低于γ’相的α相也会析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强度会变得不充分。

[0012] 本发明是基于以上的见解而完成的。本发明的目的在于提供一种氮化处理方法，其能够在500℃～590℃这一温度范围实施的氮化处理中使γ’相良好地在氮化化合物层中析出，进而能够实现高的耐点蚀性和弯曲疲劳强度。

[0013] 用于解决课题的手段

[0014] 本发明是一种氮化处理方法，其是具备至少两个阶段的氮化处理工序的钢部件的氮化处理方法，其特征在于，

[0015] 该氮化处理方法具备：

[0016] 第1氮化处理工序，在第1氮势的氮化气体气氛中，对钢部件进行氮化处理；以及

[0017] 第2氮化处理工序，在所述第1氮化处理工序之后，在低于所述第1氮势的第2氮势的氮化气体气氛中，进一步对所述钢部件进行氮化处理，

[0018] 所述第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施，

[0019] 所述第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施，

[0020] 所述第1氮势为0.300～10.000的范围内的值，

[0021] 所述第2氮势为0.253～0.600的范围内的值，

[0022] 在所述第1氮化处理工序中，生成γ’相、ε相或γ’相与ε相混在的氮化化合物层，

[0023] 在所述第2氮化处理工序中，在所述氮化化合物层中析出γ’相。

[0024] 根据本发明，通过在500℃～590℃的温度下实施的第2氮化处理工序中使第2氮势为0.253～0.600的范围内的值，能够抑制硬度低于γ’相的α相的析出，使γ’相良好地在氮化化合物层中析出，能够实现高的耐点蚀性和弯曲疲劳强度。

[0025] 在本发明中，所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序例如在同一间歇型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变NH_3气体和AX气体各自的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0026] 在这样的控制方式中，证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0027] 或者，在本发明中，所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序例如在同一单室型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变NH_3气体和AX气体各自的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0028] 在这样的控制方式中，也证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0029] 或者，在本发明中，所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序例如在同一间歇型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，也使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0030] 在这样的控制方式中，也证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的

范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0031] 或者，在本发明中，所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序例如在同一单室型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，也使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0032] 在这样的控制方式中，也证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0033] 或者，在本发明中，对于所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序，例如所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，也使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0034] 在这样的控制方式中，也证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0035] 或者，在本发明中，对于所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序，例如所述第1氮化处理工序和所述第2氮化处理工序在同一单室型热处理炉内依次实施，在所述第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将该第1氮化处理工序中的氮势控制为所述第1氮势，在所述第2氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将该第2氮化处理工序中的氮势控制为所述第2氮势。

[0036] 在这样的控制方式中，也证实了特征在于第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0037] 需要说明的是，单室型热处理炉是指，不像间歇型热处理炉(参照图1)那样具有与加热室分开的冷却室，而仅利用一个室进行加热和冷却的热处理炉，通常为井式炉(参照图3)、卧式炉(参照图5)。

[0038] 另外，在以上的各发明中，优选所述第1氮化处理工序的时间长于所述第2氮化处理工序的时间。根据本发明人的见解，通过比第2氮化处理工序更长地实施第1氮化处理工序，能够将氮化处理后的化合物层厚度调整为任意的厚度。

[0039] 发明效果

[0040] 根据本发明，通过在500℃～590℃的温度下实施的第2氮化处理工序中，使第2氮势为0.253～0.600的范围内的值，能够抑制硬度低于γ’相的α相的析出，从而使γ’相良好地在氮化化合物层中析出，能够实现高的耐点蚀性和弯曲疲劳强度。

附图说明

[0041] 图1是在本发明的氮化处理方法中使用的间歇型热处理炉的构成示意图。

[0042] 图2是使用图1的热处理炉的本发明的氮化处理方法的一个实施方式的工序图。

[0043] 图3是在本发明的氮化处理方法中使用的井式(单室型)热处理炉的构成示意图。

[0044] 图4是使用图3的热处理炉的本发明的氮化处理方法的一个实施方式的工序图。

[0045] 图5是在本发明的氮化处理方法中使用的卧式(单室型)热处理炉的构成示意图。

[0046] 图6是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

[0047] 图7是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

[0048] 图8是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

[0049] 图9是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

[0050] 图10是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

[0051] 图11是示出本发明的实施例和比较例的氮化条件和处理结果的表。

具体实施方式

[0052] [被处理体(工件)的例子]

[0053] 被处理体(工件)是钢部件。具体而言,是由在自动变速器中使用的齿轮等机械构造用碳钢钢材或机械构造用合金钢钢材构成的钢部件。例如,将圆筒状的内齿圈、有底圆筒状的内齿圈搭载于多级夹具上,在平放于盒(后述)内的状态下进行氮化处理。

[0054] 对于钢部件,优选在氮化处理之前,实施用于去除污垢、油的预清洗。预清洗例如优选利用烃系清洗液溶解置换油等并使其蒸发而进行脱脂干燥的真空清洗;利用碱系清洗液进行脱脂处理的碱清洗;等等。

[0055] [间歇型热处理炉的构成例]

[0056] 图1是在本发明的氮化处理方法中使用的间歇型热处理炉1的构成示意图。

[0057] 如图1所示,间歇型热处理炉1具备:搬入部10、加热室11、搬送室12、以及搬出输送机13。在搬入部10上放置盒20,在该盒20内收纳作为被处理体(工件)的钢部件。处理重量最大为毛重700kg。

[0058] 在加热室11的入口侧(在图1中为左侧)安装有具有开闭自如的门21的入口罩22。加热室11成为反应罐结构,反应罐外周部被加热器(未图示)加热,由此将炉内温度控制为规定的温度。并且,用于进行氮化处理的多种气体一边如后所述进行控制一边被导入至加热室11内。

[0059] 另外,在加热室11的顶板上安装有风扇26,该风扇26对导入至加热室11内的气体进行搅拌而使钢部件的加热温度均匀化。并且,在加热室11的出口侧(在图1中为右侧)安装有开闭自如的中间门27。

[0060] 在搬送室12中设置有使收纳有钢部件的盒20升降的升降机30。在搬送室12的下部设置有贮藏了冷却用的油31的冷却室(油槽)32。并且,在搬送室12的出口侧(在图1中为右侧)安装有具有开闭自如的门35的出口罩36。

[0061] 需要说明的是,也可以采用使加热室11和搬送室12为同一空间的处理室、利用气体对热处理后的钢部件进行空冷的构成。另外,也可以将加热室11分成两个,在各个加热室中进行后述的两个阶段的氮化处理工序。

[0062] [间歇型热处理炉的工作例]

[0063] 在如上所述的构成的热处理炉1中，收纳有钢部件的盒20通过推杆等从搬入部10被搬入至加热室11内。并且，在将钢部件(收纳有钢部件的盒20)被搬入至加热室11内之后，在加热室11内导入处理气体，利用加热器将该处理气体加热至规定的温度，进而一边利用风扇26(例如以1500rpm旋转)进行搅拌，一边进行搬入至加热室11内的钢部件的氮化处理。

[0064] 图2是使用了图1的热处理炉1的本发明的氮化处理方法的一个实施方式的工序图。

[0065] 在图2的例子中，在装入钢部件(工件)之前，预先将加热室11内加热至550℃。另外，在该加热工序时，以70(L/min)的恒定流量导入N_2气体且以90(L/min)的恒定流量导入NH_3气体。总流量为70+90＝160(L/min)。

[0066] 接着，将钢部件(工件)装入至加热室11内。此时，通过将门21打开，如图2所示，加热室11内的温度暂时降低。然后，将门21关闭，将加热室11内的温度再次加热至550℃。

[0067] 在这样的钢部件装入中，在图2的例子中，也以70(L/min)的恒定流量导入N_2气体且以90(L/min)的恒定流量导入NH_3气体，总流量为70+90＝160(L/min)。

[0068] 然后，实施两个阶段的氮化处理工序。具体而言，首先，作为第1氮势，采用例如1.500(0.300～10.000)的值，在550℃的温度下实施第1氮化处理工序。

[0069] 已知氮势K_N通过NH_3气体的分压$P(NH_3)$和H_2气体的分压$P(H_2)$以下式来表示。

[0070] $$K_N＝P(NH_3)/P(H_2)^{3/2}$$

[0071] 在第1氮化处理工序中，测定加热室11内的NH_3气体的分压$P(NH_3)$或H_2气体的分压$P(H_2)$，按照由该测定值运算的氮势的值达到目标第1氮势的附近范围内的方式，对处理气体的导入量进行反馈控制。

[0072] 在图2的例子中，加热室11内的H_2气体的分压$P(H_2)$通过热导式H_2传感器(未图示)进行测定，一边在线分析该测定值(一边由该测定值运算氮势)，一边对处理气体的导入量进行反馈控制。具体而言，以70(L/min)的恒定流量导入N_2气体，另一方面，在合计流量为90(L/min)的条件下分别增减NH_3气体和AX气体。总流量维持在70+90＝160(L/min)。

[0073] 在图2的例子中，这样的第1氮化处理工序实施240分钟。由此，在钢部件中生成γ'相、ε相或γ'相与ε相混在的氮化化合物层。

[0074] 接着，作为第2氮势，例如采用0.300(0.253～0.600)的值，在550℃的温度下实施第2氮化处理工序。

[0075] 在第2氮化处理工序中，也测定加热室11内的NH_3气体的分压$P(NH_3)$或H_2气体的分压$P(H_2)$，按照由该测定值运算的氮势的值达到目标第2氮势的附近范围内的方式，对处理气体的导入量进行反馈控制。

[0076] 在图2的例子中，加热室11内的H_2气体的分压$P(H_2)$通过热导式H_2传感器(未图示)进行测定，一边在线分析该测定值(一边由该测定值运算氮势)，一边对处理气体的导入量进行反馈控制。具体而言，在合计流量160(L/min)的条件下分别增减NH_3气体和AX气体。

[0077] 在图2的例子中，这样的第2氮化处理工序实施60分钟。由此，在氮化化合物层中析出γ'相。

[0078] 当第2氮化处理工序结束时，进行冷却工序。在图2的例子中，冷却工序进行15分钟(带搅拌机的油槽，在油中(100℃)保持15分钟)。当冷却工序结束时，将收纳有钢部件的盒

20搬出至搬出输送机13上。

[0079] [井式热处理炉的构成例]

[0080] 图3是在本发明的氮化处理方法中使用的井式热处理炉201的构成示意图。

[0081] 如图3所示,井式热处理炉201具备有底筒状的炉壁211以及炉盖212。

[0082] 在炉盖212的下侧(内侧)设置有风扇213,该风扇213的旋转轴贯通炉盖212,与设置于炉盖212的上侧(外侧)的风扇电动机214连接。

[0083] 在炉壁211的内侧设置有反应罐221,在该反应罐221的更内侧设置有气体引导筒222。反应罐221的外周部被加热器(未图示)加热,由此将炉内(反应罐221内)的温度控制为规定的温度。并且,在气体引导筒222内放置盒20,在该盒20内收纳作为被处理体(工件)的钢部件。处理重量最大为毛重700kg。

[0084] 另外,用于进行氮化处理的多种气体一边如后所述进行控制一边被导入至反应罐221内。进一步,反应罐221的外周部还具有通过鼓风机(未图示)进行冷却的功能,冷却时使反应罐221自身的温度降低,由此将炉内的工件冷却(炉冷)。

[0085] [井式热处理炉的工作例]

[0086] 在如上所述的构成的热处理炉201中,将炉盖212打开,将收纳有钢部件的盒20搬入至气体引导筒222内。并且,在将钢部件(收纳有钢部件的盒20)搬入至气体引导筒222内之后,向气体引导筒222内导入处理气体,利用加热器将该处理气体加热至规定的温度,进一步一边利用风扇213(例如以1500rpm旋转)进行搅拌,一边进行搬入至气体引导筒222内的钢部件的氮化处理。

[0087] 图4是使用了图3的热处理炉201的本发明的氮化处理方法的一个实施方式的工序图。

[0088] 在图4的例子中,在将钢部件(工件)装入至气体引导筒222内之后,将反应罐221内加热至550℃。在该加热工序的前半段,以40(L/min)的恒定流量导入N_2气体,在该加热工序的后半段,以40(L/min)的恒定流量导入NH_3气体。

[0089] 然后,实施两个阶段的氮化处理工序。具体而言,首先,作为第1氮势,采用例如1.500(0.300～10.000)的值,在550℃的温度下实施第1氮化处理工序。

[0090] 如上所述,已知氮势K_N通过NH_3气体的分压$P(NH_3)$和H_2气体的分压$P(H_2)$以下式来表示。

[0091] $$K_N = P(NH_3)/P(H_2)^{3/2}$$

[0092] 在第1氮化处理工序中,测定气体引导筒222内的NH_3气体的分压$P(NH_3)$或H_2气体的分压$P(H_2)$(也可以测定废气内的NH_3气体的分压$P(NH_3)$或H_2气体的分压$P(H_2)$),按照由该测定值运算的氮势的值达到目标第1氮势的附近范围内的方式,对处理气体的导入量进行反馈控制。

[0093] 在图4的例子中,气体引导筒222内的H_2气体的分压$P(H_2)$通过热导式H_2传感器(未图示)进行测定,一边在线分析该测定值(一边由该测定值运算氮势),一边对处理气体的导入量进行反馈控制。具体而言,以20(L/min)的恒定流量导入AX气体,另一方面,增减NH_3气体。总流量也发生变动。

[0094] 在图4的例子中,这样的第1氮化处理工序实施240分钟。由此,在钢部件中生成γ'相、ε相或γ'相与ε相混在的氮化化合物层。

[0095] 接着，作为第2氮势，例如采用0.300(0.253～0.600)的值，在550℃的温度下实施第2氮化处理工序。

[0096] 在第2氮化处理工序中，也测定气体引导筒222内的NH_3气体的分压P(NH_3)或H_2气体的分压P(H_2)，按照由该测定值运算的氮势的值达到目标第2氮势的附近范围内的方式，对处理气体的导入量进行反馈控制。

[0097] 在图4的例子中，气体引导筒222内的H_2气体的分压P(H_2)通过热导式H_2传感器(未图示)进行测定，一边在线分析该测定值(一边由该测定值运算氮势)，一边对处理气体的导入量进行反馈控制。具体而言，以30(L/min)的恒定流量导入AX气体，另一方面，增减NH_3气体。总流量也发生变动。

[0098] 在图4的例子中，这样的第2氮化处理工序实施60分钟。由此，在氮化化合物层中析出γ'相。

[0099] 当第2氮化处理工序结束时，进行冷却工序。在图4的例子中，在冷却工序的前半段(至400℃左右)，进行与第2氮化处理工序同样的处理气体导入量控制。即，以30(L/min)的恒定流量导入AX气体，另一方面，增减NH_3气体。在冷却工序的后半段(400℃～100℃左右)，以20(L/min)的恒定流量导入N_2气体。当冷却工序结束时，将炉盖212打开，将收纳有钢部件的盒20从气体引导筒222中搬出。

[0100] [卧式热处理炉的构成例]

[0101] 图5是在本发明的氮化处理方法中使用的卧式热处理炉的构成示意图。

[0102] 卧式热处理炉基本上是使井式热处理炉横置而成的炉，但也可以如图5所示，采用将风扇213和风扇电动机214设置于与炉盖212对置的炉壁211的壁面而非设置于炉盖212上的构成。

[0103] 卧式热处理炉的其他构成与使用图3进行说明的井式热处理炉的构成大致相同。

[0104] [卧式热处理炉的工作例]

[0105] 在卧式热处理炉中，也将炉盖212打开，将收纳有钢部件的盒20搬入至气体引导筒222内。并且，在将钢部件(收纳有钢部件的盒20)搬入至气体引导筒222内之后，向反应罐211内导入处理气体，利用加热器将该处理气体加热至规定的温度，进而一边利用风扇213(例如以1500rpm旋转)进行搅拌，一边进行搬入至气体引导筒222内的钢部件的氮化处理。

[0106] 图4的工序图在使用卧式热处理炉的情况下也是有效的。具体而言，可以进行加热工序(在前半段和后半段，气体导入的方式不同)、第1氮化处理工序、第2氮化处理工序、冷却工序。当冷却工序结束时，将炉盖212打开，将收纳有钢部件的盒20从气体引导筒222中搬出。

[0107] [效果总结]

[0108] 根据如上所述的本发明的实施方式，无论是使用间歇型热处理炉，还是使用单室型热处理炉，均能够得到在表面具有以γ'相作为主要成分的铁氮化化合物层的氮化钢部件。

[0109] 通过各实施方式得到的钢部件在内部形成氮扩散层和氮化物而得到强化，并且在表面形成富γ'相的铁氮化化合物层，因此能够实现充分的耐点蚀性和弯曲疲劳强度。

[0110] 另外，与渗碳或渗碳氮化处理相比，本发明的氮化处理是在奥氏体相变温度以下的处理，因此应变量小。另外，能够省略在渗碳或渗碳氮化处理中作为必须工序的淬火工

序，因此应变偏差量也小。其结果，能够得到高强度且低应变的氮化钢部件。

[0111] [对于本发明的温度范围的补充]

[0112] 在本发明中，使各氮化处理工序的温度为500℃～590℃。氮化处理据称温度越高生产率越好。但是，根据本发明人的验证，当高于590℃时，硬化量减少且在表面形成奥氏体层，因此将590℃设为上限为宜。另一方面，根据本发明人的验证，当氮化处理温度低于500℃时，氮化化合物层的形成速度变慢，在成本方面不优选，因此将500℃设为下限为宜。

[0113] 另外，第1氮化处理工序的温度与第2氮化处理工序的温度之差越小，越能够减小钢部件(工件)的温度的偏差，从而越能够抑制钢部件(工件)的氮化品质的偏差。具体而言，优选将两氮化处理工序的温度差控制在50℃以内，进一步优选控制在30℃以内。

[0114] [实施例1-1～1-9、比较例1-1～1-4]

[0115] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同)，使用间歇型热处理炉1，按照作为图6示出的表1的条件，实施两个阶段的氮化处理。

[0116] 在实施例1-1～1-9、比较例1-1～1-4中，第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在同一间歇型热处理炉1内依次实施。

[0117] 另外，在实施例1-1～1-9、比较例1-1～1-4的第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，一边使它们的总流量恒定一边改变NH_3气体和AX气体各自的导入量，由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0118] 另外，在实施例1-1～1-9、比较例1-1～1-4的第2氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，一边使它们的总流量恒定一边改变它们各自的导入量，由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0119] 在实施例1-1～1-9、比较例1-1～1-4中，在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后，实施使用图2进行说明的各工序。

[0120] 在表1中，相的鉴定方法基于从钢材表面进行利用2θ-θ扫描法的X射线衍射测定(Rigaku制造的MiniFlex600、Cu管、40kV-15mA)而得到的X射线衍射图案来进行。

[0121] 另外，在表1中，关于化合物层厚度，将经氮化处理的钢材沿深度方向切断，根据截面的组织观察结果，测定表面化合物层的厚度。优选富γ'相的化合物层厚度为4～16μm。小于4μm时，过薄，疲劳强度的提高不充分，另一方面，超过16μm时，作为疲劳裂纹的起点的化合物层的多孔层变厚，疲劳强度降低。

[0122] 由表1所示的结果可知，通过实施例1-1～1-9证实了特征在于在间歇炉中使用上述三种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0123] 另一方面，通过比较例1-1～1-4证实了，在500℃～590℃的温度范围内，当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时，硬度低于γ'相的α相也析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强度变得不充分。

[0124] [实施例2-1～2-9、比较例2-1～2-4]

[0125] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同)，使用井式热处理炉201，按照作为图7示出的表2的条件，实施两个阶段的氮化处理。

[0126] 在实施例2-1～2-9、比较例2-1～2-4中，第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在

同一井式热处理炉201内依次实施。

[0127] 另外，在实施例2-1～2-9、比较例2-1～2-4的第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变NH_3气体和AX气体各自的导入量，由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0128] 另外，在实施例2-1～2-9、比较例2-1～2-4的第2氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0129] 在实施例2-1～2-9、比较例2-1～2-4中，在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后，实施使用图4进行说明的各工序。

[0130] 表2中的相的鉴定方法和化合物层厚度与表1中的相的鉴定方法和化合物层厚度同样地进行判定。

[0131] 由表2所示的结果可知，通过实施例2-1～2-9证实了特征在于在井式炉中使用上述三种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0132] 另一方面，通过比较例2-1～2-4证实了，在500℃～590℃的温度范围内，当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时，硬度低于γ'相的α相也析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强度变得不充分。

[0133] [实施例3-1～3-9、比较例3-1～3-4]

[0134] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同)，使用间歇型热处理炉1，按照作为图8示出的表3的条件，实施两个阶段的氮化处理。

[0135] 在实施例3-1～3-9、比较例3-1～3-4中，第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在同一间歇型热处理炉1内依次实施。

[0136] 另外，在实施例3-1～3-9、比较例3-1～3-4的第1氮化处理工序中，使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0137] 另外，在实施例3-1～3-9、比较例3-1～3-4的第2氮化处理工序中，也使用NH_3气体和AX气体这两种气体，在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量，由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0138] 在实施例3-1～3-9、比较例3-1～3-4中，在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后，实施使用图2进行说明的各工序。

[0139] 表3中的相的鉴定方法和化合物层厚度与表1和表2中的相的鉴定方法和化合物层厚度同样地进行判定。

[0140] 由表3所示的结果可知，通过实施例3-1～3-9证实了特征在于在间歇炉中使用上述两种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0141] 另一方面，通过比较例3-1～3-4证实了，在500℃～590℃的温度范围内，当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时，硬度低于γ'相的α相也析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强

度变得不充分。

[0142] [实施例4-1～4-9、比较例4-1～4-4]

[0143] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同),使用井式热处理炉201,按照作为图9示出的表4的条件,实施两个阶段的氮化处理。

[0144] 在实施例4-1～4-9、比较例4-1～4-4中,第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在同一井式热处理炉201内依次实施。

[0145] 另外,在实施例4-1～4-9、比较例4-1～4-4的第1氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0146] 另外,在实施例4-1～4-9、比较例4-1～4-4的第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们的总流量恒定的同时改变它们各自的导入量,由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0147] 在实施例4-1～4-9、比较例4-1～4-4中,在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后,实施使用图4进行说明的各工序。

[0148] 表4中的相的鉴定方法和化合物层厚度与表1至表3中的相的鉴定方法和化合物层厚度同样地进行判定。

[0149] 由表4所示的结果可知,通过实施例4-1～4-9证实了特征在于在井式炉中使用上述两种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0150] 另一方面,通过比较例4-1～4-4证实了,在500℃～590℃的温度范围内,当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时,硬度低于γ'相的α相也析出,耐点蚀性、弯曲疲劳强度变得不充分。

[0151] [实施例5-1～5-9、比较例5-1～5-4]

[0152] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同),使用井式热处理炉201,按照作为图10示出的表5的条件,实施两个阶段的氮化处理。

[0153] 在实施例5-1～5-9、比较例5-1～5-4中,第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在同一井式热处理炉201内依次实施。

[0154] 另外,在实施例5-1～5-9、比较例5-1～5-4的第1氮化处理工序中,使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0155] 另外,在实施例5-1～5-9、比较例5-1～5-4的第2氮化处理工序中,也使用NH_3气体和AX气体这两种气体,在使它们中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量,由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0156] 在实施例5-1～5-9、比较例5-1～5-4中,在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后,实施使用图4进行说明的各工序。

[0157] 表5中的相的鉴定方法和化合物层厚度与表1至表4中的相的鉴定方法和化合物层厚度同样地进行判定。

[0158] 由表5所示的结果可知,通过实施例5-1～5-9证实了特征在于在井式炉中使用上

述两种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0159] 另一方面，通过比较例5-1～5-4证实了，在500℃～590℃的温度范围内，当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时，硬度低于γ'相的α相也析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强度变得不充分。

[0160] [实施例6-1～6-9、比较例6-1～6-4]

[0161] 对于多个圆筒状的内齿圈(钢种可以不同)，使用井式热处理炉201，按照作为图11示出的表6的条件，实施两个阶段的氮化处理。

[0162] 在实施例6-1～6-9、比较例6-1～6-4中，第1氮化处理工序和第2氮化处理工序在同一井式热处理炉201内依次实施。

[0163] 另外，在实施例6-1～6-9、比较例6-1～6-4的第1氮化处理工序中，使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将第1氮化处理工序中的氮势控制为目标第1氮势(K_N)。

[0164] 另外，在实施例6-1～6-9、比较例6-1～6-4的第2氮化处理工序中，也使用NH_3气体、AX气体和N_2气体这三种气体，在使NH_3气体和AX气体中的一者的导入量恒定的同时改变另一者的导入量，由此将第2氮化处理工序中的氮势控制为目标第2氮势(K_N)。

[0165] 在实施例6-1～6-9、比较例6-1～6-4中，在第1氮化处理工序和第2氮化处理工序的前后，实施使用图4进行说明的各工序。

[0166] 表6中的相的鉴定方法和化合物层厚度与表1至表5中的相的鉴定方法和化合物层厚度同样地进行判定。

[0167] 由表6所示的结果可知，通过实施例6-1～6-9证实了特征在于在井式炉中使用上述三种气体的控制方式中第1氮化处理工序在500℃～590℃的温度下实施、第2氮化处理工序也在500℃～590℃的温度下实施、第1氮势为0.300～10.000的范围内的值、第2氮势为低于第1氮势且为0.253～0.600的范围内的值的本发明的有效性。

[0168] 另一方面，通过比较例6-1～6-4证实了，在500℃～590℃的温度范围内，当使第2氮化处理工序中的氮势为0.25以下时，硬度低于γ'相的α相也析出，耐点蚀性、弯曲疲劳强度变得不充分。

[0169] 符号说明

[0170] 1热处理炉

[0171] 10搬入部

[0172] 11加热室

[0173] 12搬送室

[0174] 13搬出输送机

[0175] 20盒

[0176] 21门

[0177] 22入口罩

[0178] 26风扇

[0179] 27中间门

[0180] 30升降机

[0181] 31冷却室(油槽)

[0182] 35门

[0183] 36出口罩

[0184] 201热处理炉

[0185] 211炉壁

[0186] 212炉盖

[0187] 213风扇

[0188] 214风扇电动机

[0189] 221反应罐

[0190] 222气体引导筒

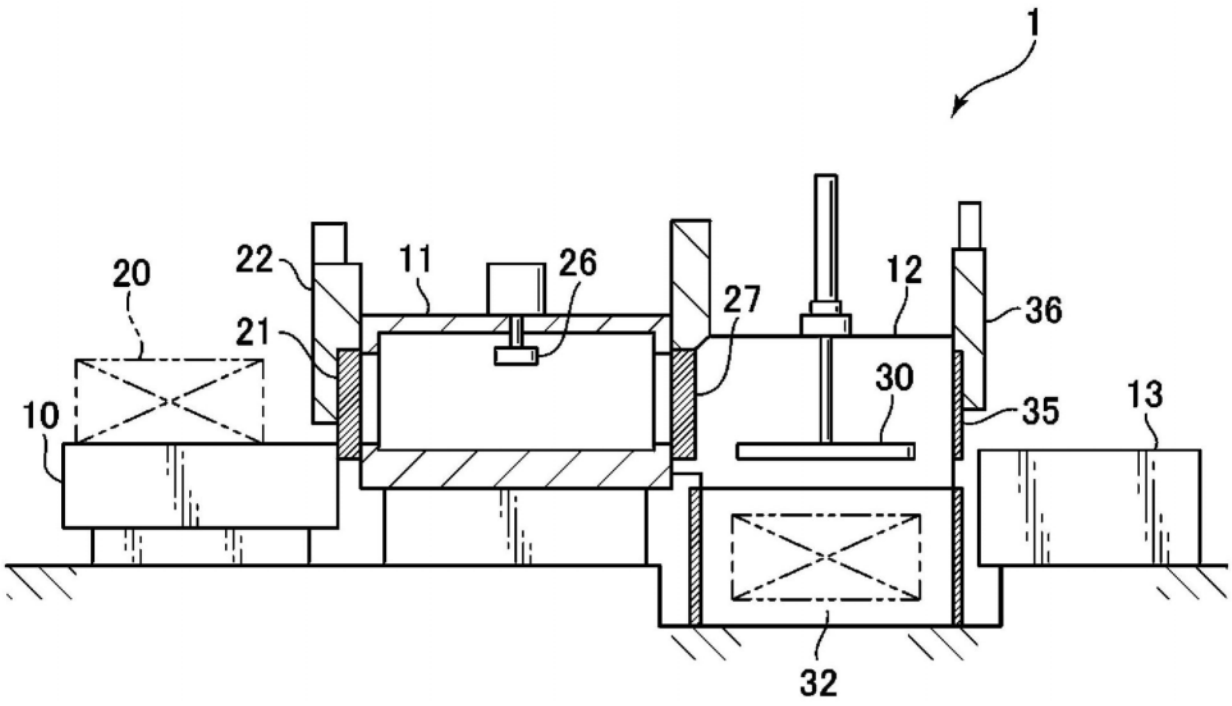


图1

	装入前	装入	氮化处理		油冷
炉温	550℃		550℃		100℃
时间(min)	–	–	240	60	15
N_2(L/min)	70	70	70	–	–
NH_3(L/min)	90	90	控制	控制	–
AX(L/min)	–	–	控制	控制	–
总流量(L/min)	160	160	160	160	–

图2

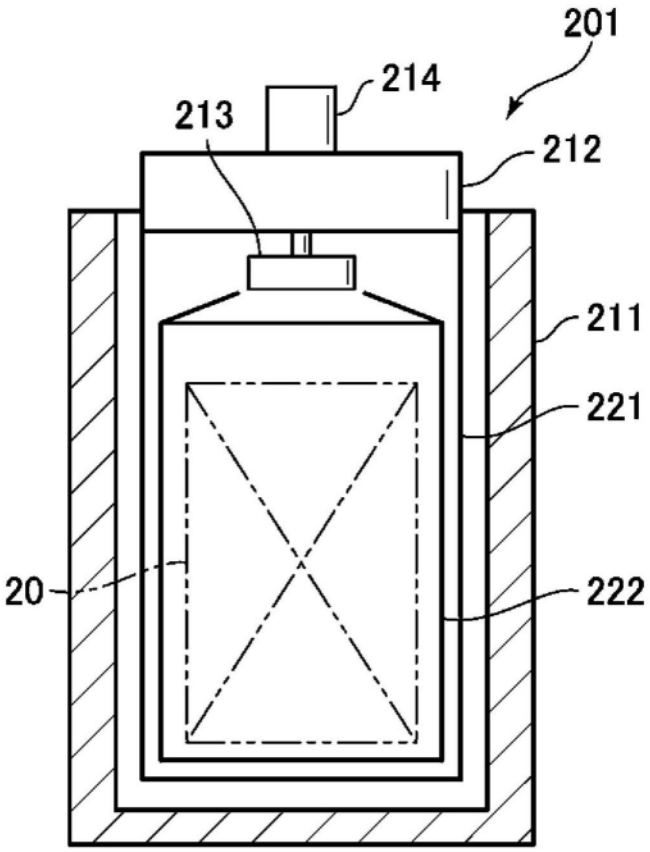


图3

	升温		氮化处理		降温	
炉温	～350℃	～550℃	550℃		～400℃	～100℃
时间(min)	–	–	240	60	–	–
N_2(L/min)	40	–	–	–	–	20
NH_3(L/min)	–	40	控制	控制	控制	–
AX(L/min)	–	–	20	30	30	–

图4

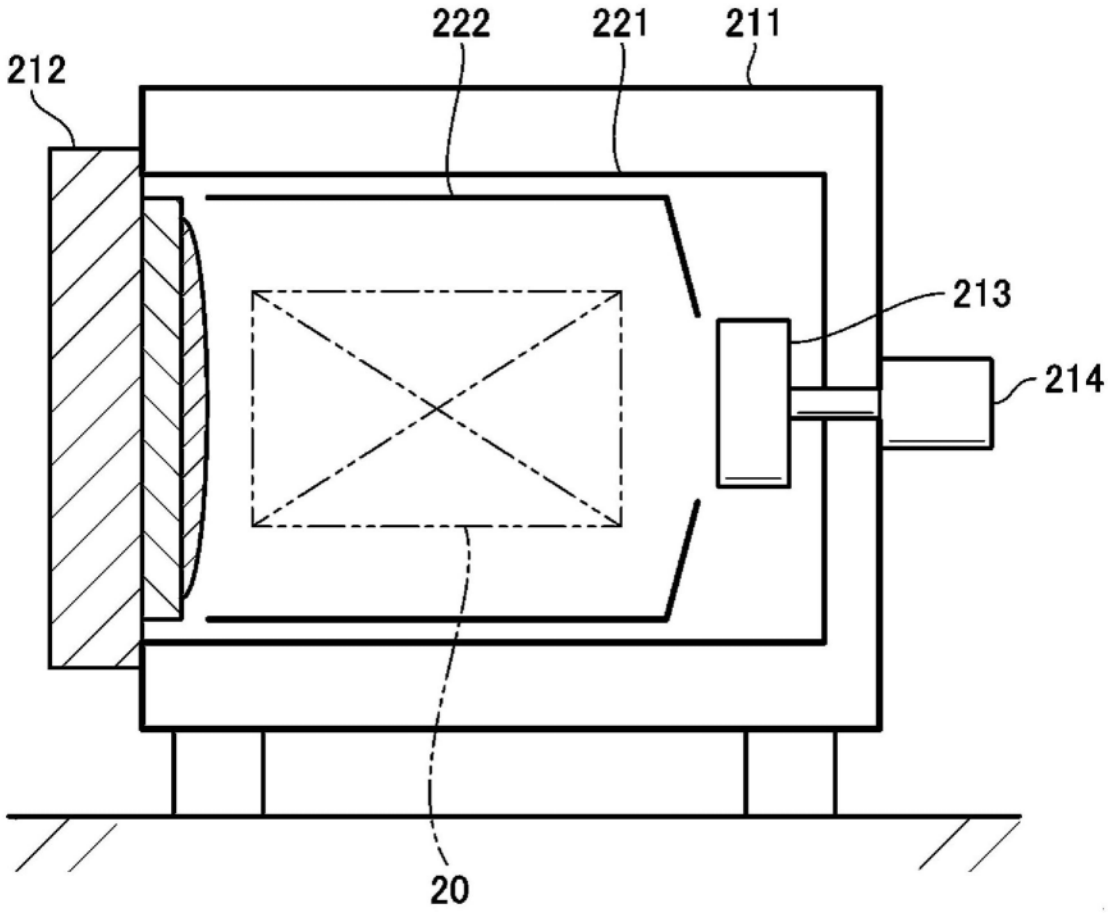


图5

	第1氮化处理工序							第2氮化处理工序						应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
				气体流量							气体流量					
	温度	时间	KN	NH_3	AX	N_2	总流量	温度	时间	KN	NH_3	AX	总流量			
实施例 1-1	500℃	540min	10	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	500℃	60min	0.6	控制	控制	160(l/min)	SCM440	γ'	15μm
实施例 1-2	500℃	540min	0.6	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	500℃	60min	0.5	控制	控制	160(l/min)	SCM440	γ'	8μm
实施例 1-3	520℃	420min	7	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	520℃	60min	0.45	控制	控制	160(l/min)	SCr420	γ'	12μm
实施例 1-4	550℃	240min	2.5	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	12μm
实施例 1-5	550℃	240min	2	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'	15μm
实施例 1-6	550℃	240min	1.5	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	6μm
实施例 1-7	570℃	180min	0.7	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	570℃	60min	0.27	控制	控制	160(l/min)	SCr420	γ'	6μm
实施例 1-8	580℃	120min	1.2	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	580℃	60min	0.26	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	13μm
实施例 1-9	590℃	120min	1	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	580℃	60min	0.253	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'	13μm
比较例 1-1	500℃	540min	9	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	500℃	60min	0.25	控制	控制	160(l/min)	SCM435	γ'+α	11μm
比较例 1-2	550℃	240min	2.5	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	550℃	60min	0.25	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'+α	12μm
比较例 1-3	580℃	120min	1.5	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'+α	13μm
比较例 1-4	590℃	120min	1	控制	控制	70(l/min)	160(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'+α	13μm

图6

	第1氮化处理工序							第2氮化处理工序							应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
				气体流量							气体流量						
	温度	时间	KN	NH_3	AX	N_2	总流量	温度	时间	KN	NH_3	AX	总流量				
实施例 2-1	500℃	500min	10	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	500℃	60min	0.6	控制	控制	100(l/min)		SCM440	γ'	15μm
实施例 2-2	500℃	500min	0.6	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	500℃	60min	0.5	控制	控制	100(l/min)		SCM440	γ'	8μm
实施例 2-3	520℃	390min	7	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	520℃	60min	0.45	控制	控制	100(l/min)		SCr420	γ'	12μm
实施例 2-4	550℃	210min	2.5	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)		SCM415	γ'	12μm
实施例 2-5	550℃	210min	2	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)		S45C	γ'	15μm
实施例 2-6	550℃	210min	1.5	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)		SCM415	γ'	6μm
实施例 2-7	570℃	160min	0.7	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	570℃	60min	0.27	控制	控制	100(l/min)		SCr420	γ'	6μm
实施例 2-8	580℃	110min	1.2	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	580℃	60min	0.26	控制	控制	100(l/min)		SCM415	γ'	13μm
实施例 2-9	590℃	110min	1	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	580℃	60min	0.253	控制	控制	100(l/min)		S45C	γ'	13μm
比较例 2-1	500℃	500min	9	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	500℃	60min	0.25	控制	控制	100(l/min)		SCM435	γ'+α	11μm
比较例 2-2	550℃	210min	2.5	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	550℃	60min	0.25	控制	控制	100(l/min)		SCM415	γ'+α	12μm
比较例 2-3	580℃	110min	1.5	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	100(l/min)		SCM415	γ'+α	13μm
比较例 2-4	590℃	110min	1	控制	控制	50(l/min)	120(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	100(l/min)		S45C	γ'+α	13μm

图7

	第1氮化处理工序						第2氮化处理工序						应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
	温度	时间	KN	气体流量			温度	时间	KN	气体流量					
				NH_3	AX	总流量				NH_3	AX	总流量			
实施例3-1	500℃	540min	10	控制	控制	160(l/min)	500℃	60min	0.6	控制	控制	160(l/min)	SCM440	γ'	13μm
实施例3-2	500℃	540min	0.6	控制	控制	160(l/min)	500℃	60min	0.5	控制	控制	160(l/min)	SCM440	γ'	7μm
实施例3-3	520℃	420min	7	控制	控制	160(l/min)	520℃	60min	0.45	控制	控制	160(l/min)	SCr420	γ'	11μm
实施例3-4	550℃	240min	2.5	控制	控制	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	11μm
实施例3-5	550℃	240min	2	控制	控制	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'	14μm
实施例3-6	550℃	240min	1.5	控制	控制	160(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	5μm
实施例3-7	570℃	180min	0.7	控制	控制	160(l/min)	570℃	60min	0.27	控制	控制	160(l/min)	SCr420	γ'	5μm
实施例3-8	580℃	120min	1.2	控制	控制	160(l/min)	580℃	60min	0.26	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'	12μm
实施例3-9	590℃	120min	1	控制	控制	160(l/min)	580℃	60min	0.253	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'	12μm
比较例3-1	500℃	540min	9	控制	控制	160(l/min)	500℃	60min	0.25	控制	控制	160(l/min)	SCM435	γ'+α	10μm
比较例3-2	550℃	240min	2.5	控制	控制	160(l/min)	550℃	60min	0.25	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'+α	11μm
比较例3-3	580℃	120min	1.5	控制	控制	160(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	160(l/min)	SCM415	γ'+α	12μm
比较例3-4	590℃	120min	1	控制	控制	160(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	160(l/min)	S45C	γ'+α	12μm

图8

	第1氮化处理工序						第2氮化处理工序						应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
	温度	时间	KN	气体流量			温度	时间	KN	气体流量					
				NH_3	AX	总流量				NH_3	AX	总流量			
实施例4-1	500℃	500min	10	控制	控制	120(l/min)	500℃	60min	0.6	控制	控制	100(l/min)	SCM440	γ'	14μm
实施例4-2	500℃	500min	0.6	控制	控制	120(l/min)	500℃	60min	0.5	控制	控制	100(l/min)	SCM440	γ'	7μm
实施例4-3	520℃	390min	7	控制	控制	120(l/min)	520℃	60min	0.45	控制	控制	100(l/min)	SCr420	γ'	11μm
实施例4-4	550℃	210min	2.5	控制	控制	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)	SCM415	γ'	11μm
实施例4-5	550℃	210min	2	控制	控制	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)	S45C	γ'	13μm
实施例4-6	550℃	210min	1.5	控制	控制	120(l/min)	550℃	60min	0.3	控制	控制	100(l/min)	SCM415	γ'	5μm
实施例4-7	570℃	160min	0.7	控制	控制	120(l/min)	570℃	60min	0.27	控制	控制	100(l/min)	SCr420	γ'	5μm
实施例4-8	580℃	110min	1.2	控制	控制	120(l/min)	580℃	60min	0.26	控制	控制	100(l/min)	SCM415	γ'	11μm
实施例4-9	590℃	110min	1	控制	控制	120(l/min)	580℃	60min	0.253	控制	控制	100(l/min)	S45C	γ'	11μm
比较例4-1	500℃	500min	9	控制	控制	120(l/min)	500℃	60min	0.25	控制	控制	100(l/min)	SCM435	γ'+α	10μm
比较例4-2	550℃	210min	2.5	控制	控制	120(l/min)	550℃	60min	0.25	控制	控制	100(l/min)	SCM415	γ'+α	11μm
比较例4-3	580℃	110min	1.5	控制	控制	120(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	100(l/min)	SCM415	γ'+α	12μm
比较例4-4	590℃	110min	1	控制	控制	120(l/min)	580℃	60min	0.2	控制	控制	100(l/min)	S45C	γ'+α	12μm

图9

	第1氮化处理工序						第2氮化处理工序						应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
	温度	时间	KN	气体流量			温度	时间	KN	气体流量					
				NH_3	AX	总流量				NH_3	AX	总流量			
实施例5-1	500℃	500min	10	控制	50(l/min)	变动	500℃	60min	0.6	控制	50(l/min)	变动	SCM440	γ'	15μm
实施例5-2	500℃	500min	0.6	控制	50(l/min)	变动	500℃	60min	0.5	控制	50(l/min)	变动	SCM440	γ'	8μm
实施例5-3	520℃	390min	7	控制	50(l/min)	变动	520℃	60min	0.45	控制	50(l/min)	变动	SCr420	γ'	12μm
实施例5-4	550℃	210min	2.5	50(l/min)	控制	变动	550℃	60min	0.3	50(l/min)	控制	变动	SCM415	γ'	12μm
实施例5-5	550℃	210min	2	控制	50(l/min)	变动	550℃	60min	0.3	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'	15μm
实施例5-6	550℃	210min	1.5	控制	50(l/min)	变动	550℃	60min	0.3	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'	6μm
实施例5-7	570℃	160min	0.7	50(l/min)	控制	变动	570℃	60min	0.27	50(l/min)	控制	变动	SCr420	γ'	6μm
实施例5-8	580℃	110min	1.2	控制	50(l/min)	变动	580℃	60min	0.26	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'	13μm
实施例5-9	590℃	110min	1	控制	50(l/min)	变动	580℃	60min	0.253	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'	13μm
比较例5-1	500℃	500min	9	控制	50(l/min)	变动	500℃	60min	0.25	控制	50(l/min)	变动	SCM435	γ'+α	11μm
比较例5-2	550℃	210min	2.5	控制	50(l/min)	变动	550℃	60min	0.25	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'+α	12μm
比较例5-3	580℃	110min	1.5	50(l/min)	控制	变动	580℃	60min	0.2	50(l/min)	控制	变动	SCM415	γ'+α	13μm
比较例5-4	590℃	110min	1	控制	50(l/min)	变动	580℃	60min	0.2	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'+α	13μm

图10

	第1氮化处理工序							第2氮化处理工序							应用钢种	相的鉴定结果(XRD)	化合物层厚度
				气体流量							气体流量						
	温度	时间	KN	NH_3	AX	N_2	总流量	温度	时间	KN	NH_3	AX	总流量				
实施例6-1	500℃	540min	10	控制	50(l/min)	控制	变动	500℃	60min	0.6	控制	50(l/min)	变动	SCM440	γ'	15μm
实施例6-2	500℃	540min	0.6	控制	50(l/min)	控制	变动	500℃	60min	0.5	控制	50(l/min)	变动	SCM440	γ'	8μm
实施例6-3	520℃	420min	7	控制	50(l/min)	控制	变动	520℃	60min	0.45	控制	50(l/min)	变动	SCr420	γ'	12μm
实施例6-4	550℃	240min	2.5	50(l/min)	控制	控制	变动	550℃	60min	0.3	50(l/min)	控制	变动	SCM415	γ'	12μm
实施例6-5	550℃	240min	2	控制	50(l/min)	控制	变动	550℃	60min	0.3	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'	15μm
实施例6-6	550℃	240min	1.5	控制	50(l/min)	控制	变动	550℃	60min	0.3	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'	6μm
实施例6-7	570℃	180min	0.7	50(l/min)	控制	控制	变动	570℃	60min	0.27	50(l/min)	控制	变动	SCr420	γ'	6μm
实施例6-8	580℃	120min	1.2	控制	50(l/min)	控制	变动	580℃	60min	0.26	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'	13μm
实施例6-9	590℃	120min	1	控制	50(l/min)	控制	变动	580℃	60min	0.253	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'	13μm
比较例6-1	500℃	540min	9	控制	50(l/min)	控制	变动	500℃	60min	0.25	控制	50(l/min)	变动	SCM435	γ'+α	11μm
比较例6-2	550℃	240min	2.5	控制	50(l/min)	控制	变动	550℃	60min	0.25	控制	50(l/min)	变动	SCM415	γ'+α	12μm
比较例6-3	580℃	120min	1.5	50(l/min)	控制	控制	变动	580℃	60min	0.2	50(l/min)	控制	变动	SCM415	γ'+α	13μm
比较例6-4	590℃	120min	1	控制	50(l/min)	控制	变动	580℃	60min	0.2	控制	50(l/min)	变动	S45C	γ'+α	13μm

图11