

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6497208号  
(P6497208)

(45) 発行日 平成31年4月10日(2019.4.10)

(24) 登録日 平成31年3月22日(2019.3.22)

(51) Int.Cl.

F 1

C23C 8/22	(2006.01)	C 23 C	8/22
C23C 8/34	(2006.01)	C 23 C	8/34
C21D 1/06	(2006.01)	C 21 D	1/06

A

請求項の数 4 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2015-101991 (P2015-101991)
(22) 出願日	平成27年5月19日 (2015.5.19)
(65) 公開番号	特開2016-216776 (P2016-216776A)
(43) 公開日	平成28年12月22日 (2016.12.22)
審査請求日	平成30年3月20日 (2018.3.20)

(73) 特許権者	000003713 大同特殊鋼株式会社 愛知県名古屋市東区東桜一丁目1番10号
(74) 代理人	110002158 特許業務法人上野特許事務所
(74) 代理人	100095669 弁理士 上野 登
(72) 発明者	安東 知洋 愛知県名古屋市南区大同町二丁目30番地 大同特殊鋼株式会社 研究開発本部 内
(72) 発明者	井上 圭介 愛知県名古屋市南区大同町二丁目30番地 大同特殊鋼株式会社 研究開発本部 内

審査官 越本 秀幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高濃度浸炭鋼の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

減圧下で鋼材を保持する浸炭炉内に、炭化水素ガスのパルスを複数回導入する真空浸炭工程を有する高濃度浸炭鋼の製造方法において、

前記真空浸炭工程では、前記炭化水素ガスのパルスを1回導入し、前記鋼材の表面における炭素濃度がA cm線に相当する炭素濃度を超えた後、前記鋼材の表面における炭素濃度が前記A cm線に相当する炭素濃度未満となってから、次のパルスを導入し、

製造される前記高濃度浸炭鋼に最大炭化物径が5 μm以上の粗大な炭化物を析出させないことを特徴とする高濃度浸炭鋼の製造方法。

## 【請求項 2】

前記真空浸炭工程の後に、窒化処理を行うことを特徴とする請求項1に記載の高濃度浸炭鋼の製造方法。

## 【請求項 3】

前記真空浸炭工程を一次浸炭工程として、前記一次浸炭工程の後に、  
A 1線と前記A cm線の間の温度で浸炭を行う二次浸炭工程を実施することを特徴とする請求項1に記載の高濃度浸炭鋼の製造方法。

## 【請求項 4】

前記二次浸炭工程において、窒化処理を行うことを特徴とする請求項3に記載の高濃度浸炭鋼の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

**【技術分野】****【0001】**

本発明は、高濃度浸炭鋼の製造方法に関し、さらに詳しくは、真空浸炭を経て高濃度浸炭鋼を製造する方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

浸炭によって鋼材表面の炭素濃度を内部よりも高めた高濃度浸炭鋼が公知である。代表的な浸炭方法としてガス浸炭と真空浸炭があるが、真空浸炭においては、焼入れ性の劣化等につながる粒界酸化が実質的に起こらないため、ガス浸炭に比べて、優れた特性を有する高濃度浸炭鋼を製造することができる。

10

**【0003】**

高濃度浸炭鋼においては、鋼材表面に炭化物を微細分散させることで、鋼材の面疲労強度を高めることができるので、セメンタイト等の粗大な炭化物の析出を避けることが望まれる。その観点から、特許文献1, 2に示されるように、浸炭温度等、浸炭工程における諸条件が選択される。通常、図4に示すように、最初に一次浸炭工程において鋼材の表面に炭素を高濃度で固溶させ、その後二次浸炭工程において微細な炭化物を析出させる。一次浸炭で粗大な炭化物が析出すると、二次浸炭を経てもそれが残存し、最終的に得られる高濃度浸炭鋼の強度を低下させることになる。

**【先行技術文献】****【特許文献】**

20

**【0004】**

【特許文献1】特開2008-115427号公報

【特許文献2】特開平11-117059号公報

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

浸炭工程において、ガス浸炭を用いる場合には、雰囲気ガスの組成を調整してカーボンポテンシャル値を制御することで、表面の炭素濃度を所望の一定値に保つことができる。図4に示した例では、過程(2)として表示されるように、一次浸炭工程において、Ac<sub>m</sub>ラインよりもわずかに低い表面炭素濃度を維持することで、粗大な炭化物(セメンタイト)の析出を回避している。そして、過程(4)として表示されるように、A<sub>1</sub>ラインとAc<sub>m</sub>ラインの間の温度で二次浸炭を行うことで、微細な炭化物を析出させる。

30

**【0006】**

一方、真空浸炭においては、炭化水素ガスがパルス状で導入されるため、図2のように、パルスの立ち上がりに伴う浸炭期において、表面炭素濃度が目標値よりも高濃度側に変動する。この際、表面に粗大な炭化物が生成しやすくなる。一旦そのようにして粗大な炭化物が生成すると、鋼材の表面に蓄積されやすい。よって、最終的に、平均の炭素濃度は目標値となったとしても、粗大な炭化物がその中に残存してしまうことになる。二次浸炭を経ても、粗大な炭化物は残存する。

**【0007】**

40

本発明が解決しようとする課題は、真空浸炭工程において、粗大な炭化物の析出を抑制しながら、鋼材表面の炭素濃度を高めることができる高濃度浸炭鋼の製造方法を提供することにある。

**【課題を解決するための手段】****【0008】**

上記課題を解決するために、本発明にかかる高濃度浸炭鋼の製造方法は、減圧下で鋼材を保持する浸炭炉内に、炭化水素ガスのパルスを複数回導入する真空浸炭工程を有する高濃度浸炭鋼の製造方法において、前記真空浸炭工程では、前記炭化水素ガスのパルスを1回導入した後、前記鋼材の表面における炭素濃度がAc<sub>m</sub>線に相当する炭素濃度未満となつてから、次のパルスを導入することを要旨とする。

50

## 【0009】

ここで、前記真空浸炭工程の後に、窒化処理を行うことが好ましい。

## 【発明の効果】

## 【0010】

上記発明にかかる高濃度浸炭鋼の製造方法においては、真空浸炭工程において、1つのパルスを導入した後、表面の炭素濃度がA cmラインを下回るまで待ってから、次のパルスを導入する。これにより、各パルスによる浸炭が開始される前に、粗大な炭化物が鋼材表面にほぼ残っていない状態とすることができます。その結果、パルスを複数回導入しても、粗大な炭化物が蓄積されにくく、高濃度での浸炭と、粗大炭化物の析出抑制とを両立することができる。

10

## 【0011】

ここで、真空浸炭工程の後に、窒化処理を行う場合には、炭化物が析出することによって低下しがちとなる鋼材の焼入れ性を補うことができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0012】

【図1】A cmライン未満に表面炭素濃度を下げる本発明の一実施形態にかかる高濃度浸炭鋼の製造方法における真空浸炭工程を説明する図である。(a)は表面炭素濃度の変化をFe-C系状態図中に表したものであり、(b)は表面炭素濃度の時間変化を表したものである。

20

【図2】A cmライン未満に表面炭素濃度を下げない形態を説明する図である。(a)は表面炭素濃度の変化をFe-C系状態図中に表したものであり、(b)は表面炭素濃度の時間変化を表したものである。

【図3】表面炭素濃度の時間変化予測値の一例を表す図であり、実線は、A cmライン未満に表面炭素濃度を下げた場合、点線はA cmライン未満に表面炭素濃度を下げない場合を示している。

【図4】ガス浸炭工程を示す図であり、(a)は表面炭素濃度と温度の変化をFe-C系状態図中に表したもの、(b)は温度の時間変化を表したものである。図中の符号(1)~(4)は図(a)と(b)で対応している。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0013】

30

以下、本発明の一実施形態にかかる高濃度浸炭鋼の製造方法について説明する。本発明の一実施形態にかかる高濃度浸炭鋼の製造方法においては、鋼材に対して、一次浸炭工程として真空浸炭工程を実施した後、必要に応じて二次浸炭工程を実施するものである。本製造方法は、いかなる鋼材に対して適用してもよいが、構造用鋼を製造するのに好適に用いることができる。得られる構造用鋼の好ましい組成としては、以下のようないかなる成分元素(単位:質量%)を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物よりなるものを挙げることができる。

0.10% C 0.40%  
0.05% Si 2.00%  
0.60% Mn 2.00%  
0.30% Cr 3.00%

40

組成中には、さらに、以下の成分元素が含まれていてもよい。

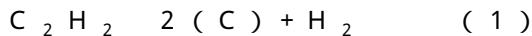
Ni 2.00%  
Mo 1.00%

## 【0014】

真空浸炭工程においては、鋼材を浸炭炉に収容して減圧し、共析点よりも高い浸炭温度に加熱したうえで、浸炭炉にアセチレンに代表される炭化水素ガスをパルス状で導入する。浸炭炉内に炭化水素のパルスを導入すると、浸炭炉内の炭化水素濃度が急激に上昇し、それに伴って、鋼材表面に炭素原子が付着し、図1(b)に示すように、鋼材表面から炭素原子が侵入して、表面の炭素濃度が上昇する。これは、例えば炭化水素がアセチレンの

50

場合、以下のような反応によって起こる。



ここで、(C)は、鋼材表面に付着した炭素原子を示している。このように、炭化水素のパルスの導入に伴って鋼材表面の炭素濃度が増大する過程が、浸炭期と称される。

【0015】

炭化水素のパルスを導入する間も、浸炭炉内は減圧を継続されており、パルスの導入が中断した後、浸炭炉内の炭化水素の濃度が減少する。浸炭期に鋼材表面に導入された炭素原子は、鋼材表面から内部に拡散するので、新たな炭素原子が導入されなくなると、鋼材表面の炭素濃度が低下する。この期間が拡散期と称される。炭化水素ガスのパルスを複数回導入し、浸炭期と拡散期を交互に繰り返すことで、鋼材表面から所定の深さにわたる領域で、所望の炭素濃度を達成することができる。図1(a)では、Fe-C系の状態図中に、最初のパルス導入に伴う浸炭期を過程(1)として表し、その後の拡散期および浸炭期を過程(2)および過程(2)'として表している。

【0016】

1つのパルスを導入した後の拡散期から、次のパルスを導入して浸炭期に切り替えるタイミングは、鋼材表面の炭素濃度を指標として規定されている。具体的には、予め定められた浸炭開始濃度に達するまで鋼材表面の炭素濃度が下がってから、次のパルスを導入し、拡散期から浸炭期に切り替える。図1(a), (b)に示すように、浸炭開始濃度は、その時の浸炭温度において、状態図中のAc mラインに相当する炭素濃度未満の炭素濃度となるように、定められている。

【0017】

このように、鋼材表面の炭素濃度がAc mライン未満にまで下がってから、各パルスを導入し、浸炭期を開始させることで、鋼材表面に、粗大な炭化物が析出するのを抑制することができる。Ac mライン以上の炭素濃度においては、粗大な炭化物結晶となるセメントタイトが析出するが、パルスの導入によって各浸炭期を開始する前に、セメントタイトの析出が起こらない水準にまで鋼材表面の炭素濃度を下げておくことで、パルスの導入を繰り返しても、粗大な炭化物が蓄積されにくくなる。拡散期から浸炭期に切り替える浸炭開始濃度は、好ましくは、Ac mラインに相当する炭素濃度よりも0.1質量%以上低い炭素濃度に定めておくとよい。

【0018】

浸炭期における炭素濃度の最大値(尖頭値)および浸炭期と拡散期を繰り返す回数は、鋼材表面から導入された炭素原子の深さ方向への拡散を経て、所定の深さ範囲において、所望の炭素濃度が得られるように、適宜定めればよい。そして、最終パルスを導入した後、表面の炭素濃度が目標値に達するように、炭化水素ガスの供給を停止するとともに、鋼材の温度を下げる、浸炭を終了すればよい。表面炭素濃度の目標値は、例えば、1.0質量%以上とすることができる。

【0019】

なお、鋼材表面における炭素濃度は、上記(1)式の反応の速度と、鋼材表面から内部への炭素の拡散の速度に基づいて、シミュレーションによって見積もることができる。シミュレーション方法の例としては、「鉄と鋼」第92巻、第4号、36~41頁に掲載されているものを挙げることができる。このようにして、実際の真空浸炭工程に対して鋼材表面の炭素濃度を見積もった例を図3に示す。図3では、上記のように表面炭素濃度がAc mラインに相当する炭素濃度未満に設定した浸炭開始濃度に達してから次のパルスを導入する場合の例を実線で示している。

【0020】

ここで、短時間で高濃度の炭素を鋼材表面に導入することを意図した場合に、1つのパルスを導入した後、表面の炭素濃度がAc mラインに相当する炭素濃度未満まで下がるのを待たずに、次のパルスを導入する方法が考えられる。このような方法の例を図2に示している。ここでは、拡散期から浸炭期に切り替える浸炭開始濃度を、Ac mラインに相当する炭素濃度に一致させている。このようにすると、鋼材に固溶させられる炭素の濃度を

10

20

30

40

50

高効率で高めることができるが、各パルスの導入によってセメンタイトに由来する粗大な炭化物が析出しやすくなる。粗大な炭化物が析出した状態で次のパルスを導入し、浸炭期を開始することになるので、複数回パルスを導入することで、粗大な炭化物が徐々に蓄積されることになる。最終パルスを導入した後、最終拡散期で、表面炭素濃度を目標値にまで下げれば、表面近傍の平均の組成としては、炭化物が析出しないような炭素濃度、つまり A cm ライン未満の炭素濃度を得ることができる。しかし、鋼材表面の実際の微視的な組織としては、粗大な炭化物が残った状態となる。表面炭素濃度の目標値を高炭素濃度に定めるほど、粗大な炭化物の残存が起こりやすくなる。図 3 に、表面炭素濃度が A cm ラインにちょうど達した時に次のパルスを導入した場合の実例を点線で示している。

## 【0021】

10

表面炭素濃度の目標値を比較的低濃度の領域に定める場合には、各パルスの拡散期において、鋼材表面の炭素濃度が A cm ライン未満となるのを待つようなことをしなくとも、最終パルスの拡散期で表面炭素濃度をその目標値まで下げておけば、各パルスの浸炭期において析出した炭化物をほぼ消失させることができる。しかし、1.0 質量 % 以上のような高炭素濃度を目標値とする場合には、この方法では生じた炭化物を十分に消失させることができない。

## 【0022】

また、図 1 ( a ) 等に示した Fe - C 系の状態図によると、A cm ラインは右上がりになつてあり、真空浸炭時の温度を高温にするほど、炭化物を析出させずに鋼材表面の炭素濃度を上げやすいことになる。しかし、浸炭温度を高温にしそうると、結晶粒の粗大化や歪み等の問題が生じる。これらの問題を回避しながら効率的に炭素濃度を上げる観点から、真空浸炭時の温度は、900 ~ 1050 度とすることが好ましい。

20

## 【0023】

以上のような真空浸炭工程を一次浸炭工程として、その後に適宜、二次浸炭工程を実行してもよい。二次浸炭工程は、A 1 ラインと A cm ラインの間の温度で実施する。二次浸炭工程の詳細な条件は、例えば特許文献 1 に記載されているものを参照すればよい。また、二次浸炭工程において、窒化を行うことが好ましい。高濃度での浸炭を行うことで、鋼材表面の焼入れ強度が低下しがちになるが、窒化を行うことで、その低下分を補い、高い焼入れ強度を達成することができる。

## 【実施例】

30

## 【0024】

以下、実施例を用いて本発明をより具体的に説明する。

## 【0025】

## (実験方法)

下記の表 1 に示す 2 種の組成を有する鋼材を、アセチレンガスを用いた真空浸炭工程を経て製造した。この際、処理温度および浸炭開始炭素濃度、つまり 2 回目以降の浸炭期を開始する時の鋼材表面の炭素濃度として、表 2 に示す複数の組み合わせを採用した。鋼材表面の炭素濃度は、図 3 に示したものと同様、シミュレーションに基づいて見積もった。

## 【0026】

得られた各鋼材について、走査型電子顕微鏡 ( SEM ) を用いて断面観察を行い、析出している炭化物のうち、最大のものの径を計測した。得られた結果を表 2 に示す。

40

## 【0027】

## (結果)

表 1 に、製造した 2 種の鋼種の成分元素を示す。残部は、Fe と不可避的不純物よりなる。2 種の鋼種はそれぞれ、JIS SCM420 および SNCM420 に対応する組成を有している。

## 【0028】

【表1】

鋼種	成分元素 (mass%)					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
SCM420	0.20	0.20	0.78	0.06	1.15	0.15
SNCM420	0.20	0.25	0.61	1.70	0.55	0.20

## 【0029】

表2に、各実施例および比較例について、鋼種、処理温度、浸炭開始炭素濃度、それぞれの処理温度においてAcm線に相当する炭素濃度と、計測された最大炭化物径を示す。

10

## 【0030】

【表2】

	鋼種	処理温度 (°C)	浸炭開始 C濃度 (%)	Acm線 C濃度 (%)	最大炭化物径 (μm)
実施例A1	SCM420	980	1.10	1.34	< 1
実施例A2			1.25		< 1
比較例A1			1.35		9
比較例A2		1050	1.50	1.62	10
実施例A3	SNCM420	980	1.50		2
比較例A3			1.70		20
実施例B1		1050	1.20	1.26	< 1
比較例B1			1.30		11
実施例B2	SNCM420	1050	1.55	1.64	2
比較例B2			1.70		15

## 【0031】

表2の結果によると、いずれの鋼種、処理温度においても、浸炭開始炭素濃度が高くなるほど、得られた鋼材において観測される最大炭化物径が大きくなっている。おおむね、最大炭化物径が5 μm以上の場合に、粗大な炭化物が析出しているとみなすことができるが、浸炭開始炭素濃度がAcm線に相当する炭素濃度未満となっている各実施例においては、最大炭化物径が2 μm以下となっており、粗大な炭化物が析出していないとみなされる。一方、浸炭開始炭素濃度がAcm線に相当する炭素濃度以上となっている各比較例においては、最大炭化物径が9 μm以上となっており、粗大な炭化物が析出している。

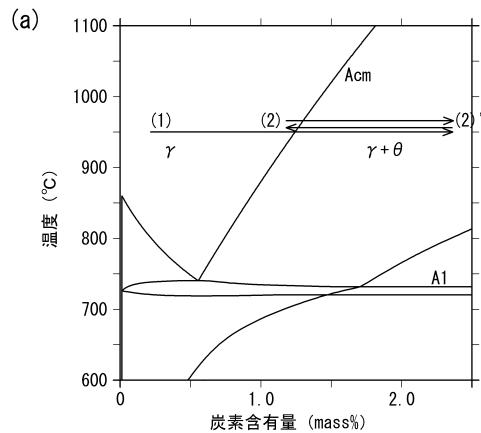
30

## 【0032】

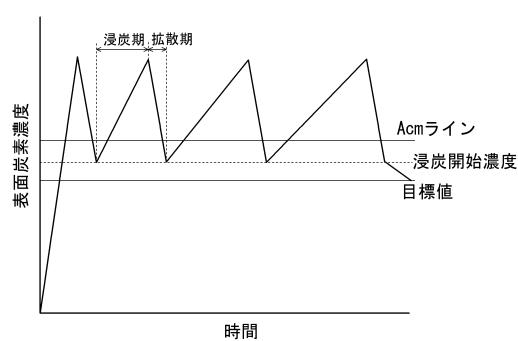
以上、本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態および実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の改変が可能である。

40

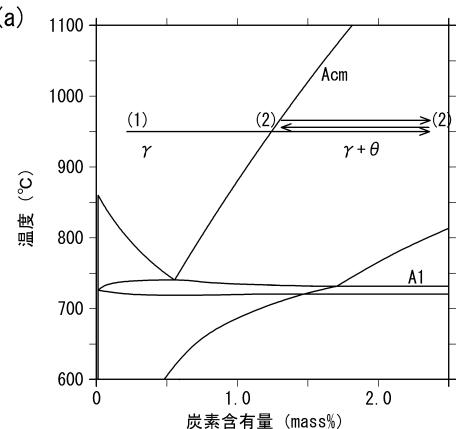
【図1】



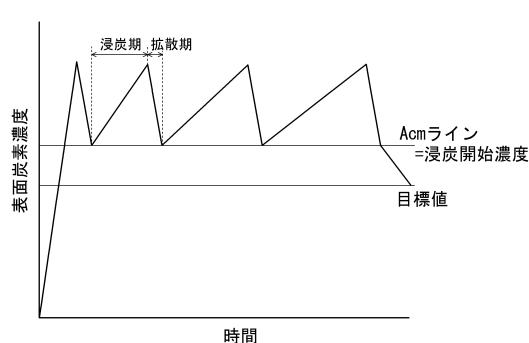
(b)



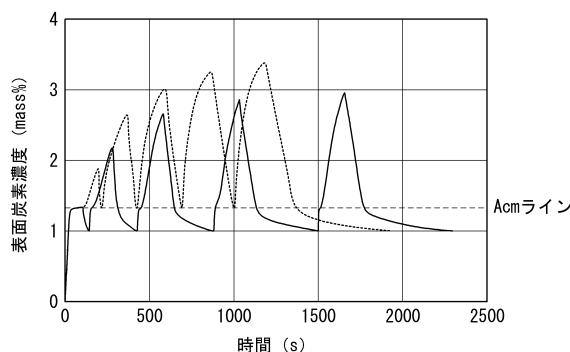
【図2】



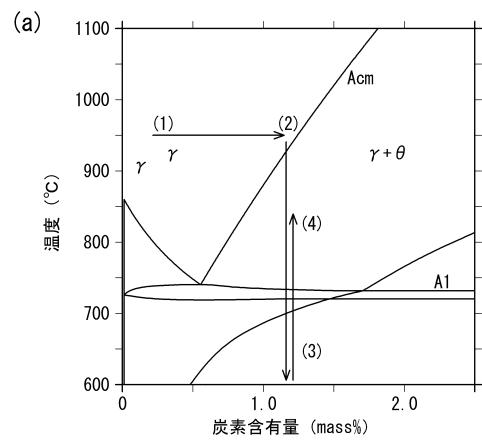
(b)



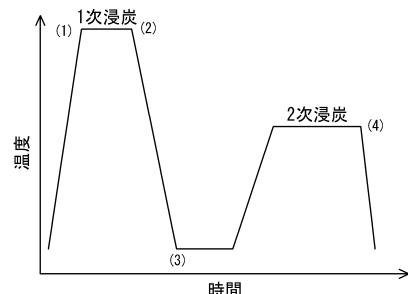
【図3】



【図4】



(b)



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-052262(JP, A)  
特開2002-173759(JP, A)  
国際公開第03/048405(WO, A1)  
国際公開第2004/111292(WO, A1)  
特開2000-001765(JP, A)  
特開2011-026658(JP, A)  
特開平11-117059(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 8/00 - 8/80