

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-526823

(P2017-526823A)

(43) 公表日 平成29年9月14日 (2017.9.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C 2 2 C 38/00 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/00 3 O 1 A	
<b>C 2 2 C 38/02 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/02	
<b>C 2 2 C 38/58 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/00 3 O 2 Z	
<b>C 2 1 D 6/00 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/58	
	C 2 1 D 6/00 R	
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 17 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2017-527532 (P2017-527532)  
 (86) (22) 出願日 平成27年7月17日 (2015.7.17)  
 (85) 翻訳文提出日 平成29年3月3日 (2017.3.3)  
 (86) 国際出願番号 PCT/SE2015/050826  
 (87) 国際公開番号 W02016/022054  
 (87) 国際公開日 平成28年2月11日 (2016.2.11)  
 (31) 優先権主張番号 14180077.1  
 (32) 優先日 平成26年8月6日 (2014.8.6)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 517037065  
 アウスフェリティク・アーベ  
 スウェーデン・9 2 2・2 1・ヴィンデル  
 ン・ボックス・5 2 O  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦  
 (74) 代理人 100110364  
 弁理士 実広 信哉  
 (74) 代理人 100133400  
 弁理士 阿部 達彦  
 (72) 発明者 リカルド・ラルケル  
 スウェーデン・S-9 2 2・3 2・ヴィン  
 デルン・エクベクスヴェーゲン・1 5

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 材料、方法及び部材

## (57) 【要約】

高い強度並びに高い延性及び／又は破壊靱性を必要とする部材のためのオーステンパ鋼は、3 . 1 重量%から4 . 4 重量%のケイ素含有量と、0 . 4 重量%から0 . 6 重量%の炭素含有量と、を有している。前記オーステンパ鋼の微細構造は、オースフェライト系か、又は、スーパーベイナイト系である。

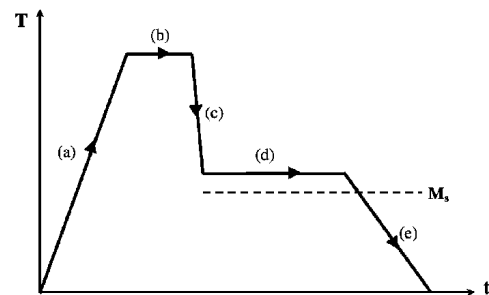


Fig. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

高い強度並びに高い延性及び / 又は破壊靱性を必要とする部材のためのオーステンパ鋼において、

3 . 1 重量 % から 4 . 4 重量 % のケイ素含有量、及び、0 . 4 重量 % から 0 . 6 重量 % の炭素含有量と、オースフェライト系か、又は、スーパーベイナイト系の微細構造と、を有することを特徴とするオーステンパ鋼。

## 【請求項 2】

完全なオーステナイト化を含むオーステンパ熱処理によって得られ、鋼におけるケイ素の含有量が高くなると、オーステナイト化温度も高くなることを特徴とする、請求項 1 に記載のオーステンパ鋼。

10

## 【請求項 3】

以下の組成：

C 0 . 4 重量 % ~ 0 . 6 重量 %

S i 3 . 1 重量 % ~ 4 . 4 重量 %

M n 最大 4 . 0 重量 %

C r 最大 2 5 . 0 重量 %

C u 最大 2 . 0 重量 %

N i 最大 2 0 . 0 重量 %

A l 最大 2 . 0 重量 %

M o 最大 6 . 0 重量 %

V 最大 0 . 5 重量 %

N b 最大 0 . 2 重量 %

バランス F e 及び通常発生する不純物、

を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のオーステンパ鋼。

20

## 【請求項 4】

実質的に炭化物を含まない微細構造を有することを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のオーステンパ鋼。

## 【請求項 5】

5 体積 % よりも少ない炭化物を含む微細構造を有することを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のオーステンパ鋼。

30

## 【請求項 6】

請求項 7 から 1 3 のいずれか一項に記載の方法を用いて得られることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のオーステンパ鋼。

## 【請求項 7】

高い強度並びに高い延性及び / 又は破壊靱性を必要とする部材のためのオーステンパ鋼を製造するための方法において、

3 . 1 重量 % から 4 . 4 重量 % のケイ素含有量と、0 . 4 重量 % から 0 . 6 重量 % の炭素含有量と、を有する合金からオーステンパ鋼を製造するステップを含むこと、及び、前記オーステンパ鋼が、完全なオーステナイト化を含むオーステンパ熱処理によって得られ、鋼におけるケイ素の含有量が高くなると、オーステナイト化温度も高くなること、及び、結果として得られる前記オーステンパ鋼の微細構造は、オースフェライト系か、又は、スーパーベイナイト系であることを特徴とする方法。

40

## 【請求項 8】

前記オーステンパ鋼が、以下の組成：

C 0 . 4 重量 % ~ 0 . 6 重量 %

S i 3 . 1 重量 % ~ 4 . 4 重量 %

M n 最大 4 . 0 重量 %

C r 最大 2 5 . 0 重量 %

C u 最大 2 . 0 重量 %

50

N i 最大 20.0 重量 %  
 A l 最大 2.0 重量 %  
 M o 最大 6.0 重量 %  
 V 最大 0.5 重量 %  
 N b 最大 0.2 重量 %

バランス F e 及び通常発生する不純物、  
 を有することを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

a) 3.1 重量 % から 4.4 重量 % のケイ素含有量及び 0.4 重量 % から 0.6 重量 % の炭素含有量を有する鋼を含む溶融物を形成するステップ；

10

b) 前記溶融物から、部材又は半製品のバーを鑄造するステップ；

c) 前記部材又は半製品のバーを、冷却の前に鍛造するか、又は、直接冷却した後、任意で鍛造及び後続の冷却を行うステップ；

d) 前記冷却された部材、半製品のバー又は鍛造物を第 1 の温度において熱処理し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物を、所定の時間に亘って前記温度において保持し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物を完全にオーステナイト化するステップであって、鋼のケイ素含有量によってオーステナイト化温度がより高くなるステップ；

e) 前記熱処理された部材、半製品のバー又は鍛造物を、連続冷却変態 (CCT) 図におけるパーライト領域より下方であるが、 $M_s$  温度よりは高い中間温度まで急冷する間のパーライトの形成を防止するために十分な焼き入れ速度、例えば少なくとも 150 / 分の焼き入れ速度で焼き入れするステップ；

20

f) 前記部材、半製品のバー又は鍛造物を、 $M_s$  温度より高い 1 つ又は複数の温度において、所定の時間に亘り熱処理し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物をオーステンパシ、結果として、オースフェライト鋼又はスーパーベイナイト鋼を得るステップ、

を含んでいることを特徴とする、請求項 7 又は 8 に記載の方法。

【請求項 10】

機械加工が、ステップ d) から f) において行われる熱処理の前、後、又は、前後で行われることを特徴とする、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のオースフェライト鋼、又は、請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の方法を用いて製造されるオースフェライト鋼を含むことを特徴とする部材。

30

【請求項 12】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のオースフェライト鋼、又は、請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の方法を用いて製造されるオースフェライト鋼を含むことを特徴とする半製品のバー。

【請求項 13】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のオースフェライト鋼、又は、請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の方法を用いて製造されるオースフェライト鋼を含むことを特徴とする鍛造物。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高い又は非常に高い強度と、高い又は非常に高い延性及び/又は破壊靱性とを必要とする部材のためのオーステンパ鋼に関するものであり、ベイナイトの形成を防止し、オーステンパの間、 $M_s$  温度のわずかに上の温度においても、オースフェライト(「スーパーベイナイト」とも呼ばれる)微細構造を促進し、結果として生じる針状フェライトの固溶強化を増大させるために、合金中のケイ素含有量を増加させる。本発明はまた、このようなオーステンパ鋼、及び、このようなオーステンパ鋼を含む、又は、本発明に係る方法を用いて製造された部材、半製品のバー、又は、鍛造物を製造するための方法にも

50

関する。

【背景技術】

【0002】

典型的なオーステンパ熱処理サイクルでは、鋼又は鋳鉄を含むワークピースは、まず熱せられた後、オーステナイトになるまでオーステナイト化温度に保たれ、事前にパーライトに分解されたセメンタイトからの炭素は、形成されたオーステナイト内で均一に分散する。合金鋼では、炭素含有量は、前の製造段階で固定されるが、鋳鉄では、分散したグラファイト間の鋼様のマトリックス内の炭素含有量は、熱処理の間のオーステナイト化温度の選択によって変化し得る。なぜなら、オーステナイト内での炭素の溶解度は、温度と共に増大し、炭素は容易にマトリックスとグラファイトとの間に分散し得るからである。従って、鋳鉄では、オーステナイトには、グラファイトから拡散する炭素で飽和するために十分な時間を与えなければならない。

10

【0003】

ワークピースが完全にオーステナイト化された後、ワークピースは、連続冷却変態（CCT）図におけるパーライト領域よりも低いが、このレベルの炭素を有するオーステナイトがマルテンサイトへの変態を開始するであろう温度である $M_s$ 温度よりは高い中間温度まで急冷する間に、パーライトが形成されることを回避するのに十分な高さである焼き入れ速度で焼き入れ（通常は塩浴において）される。この中間温度範囲は、一般的な低ケイ素含有鋼に関するベイナイト範囲として、より良く知られている。当該ワークピースは、次に、オースフェライトへの等温変態に十分な時間、この「オーステンパ」温度と呼ばれる温度に保たれ、その後、室温にまで冷却され得る。

20

【0004】

低ケイ素含有鋼の類似の熱処理によって形成されるベイナイト構造と同様に、オースフェライト材料の最終的な微細構造及び特性は、オーステンパ温度と、当該温度での保持時間とに強く影響される。オースフェライト微細構造は、比較的高い変態温度ではより粗くなり、比較的低い温度ではより細くなる。低ケイ素含有鋼に形成されたベイナイト構造とは対照的に、針状又は羽毛状フェライトの核生成及び成長（形成温度に依存して）は、一般的に、ベイナイト炭化物の形成を伴わない。なぜなら、これは、比較的高いケイ素含有量によって遅延するか、又は、防止されるからである。実際に、形成されたフェライトを離れる炭素の部分的な拡散は、周囲のオーステナイトを増加させ、その $M_s$ 温度を低下させることによって当該オーステナイトを安定化している。結果として生じる二重マトリックス微細構造は、「オースフェライト」と呼ばれ、同時に炭素で安定化したオーステナイト内で核生成され成長した針状又は羽毛状フェライトを含んでいる。

30

【0005】

比較的高い等温変態温度では、比較的粗く、主に羽毛状のフェライトが、比較的大きな相対量のオーステナイト（より高い延性を促進する）を有する炭素安定化オーステナイトの比較的厚いフィルムのマトリックス内で核生成し、成長するが、比較的低い等温変態温度では、次第に細かく、針状になるフェライトが、比較的大きな相対量のフェライト（より高い強度を可能にする）を有する炭素安定化オーステナイトの比較的薄いフィルムのマトリックス内で核生成し、成長する。

40

【0006】

オーステンパダクタイル鉄（ADI）（正しく熱処理された場合、ADIはベイナイトを含まないか、又は、わずかに含むのみであるが、しばしば誤って「ベイナイトダクタイル鉄」と呼ばれる）は、改善された強度及び延性特性を有するダクタイル（球状黒鉛）鋳鉄合金の特別な群を表している。鋳放しダクタイル鉄と比較すると、ADI鋳物は、同じ延性レベルで少なくとも2倍の強度を有しているか、又は、同じ強度レベルで少なくとも2倍の延性を有している。

【0007】

ダクタイル鉄を含む殆どの鋳鉄では、Fe C Siの三成分系における少なくとも2重量%のケイ素レベルが、グラファイト包有物をもたらすねずみ鋳鉄の凝固（grey

50

solidification)を促進するために必要である。オーステンパの際、オーステンパ温度が、 $M_s$  温度を比較的大きく超えており、オーステンパ時間が長すぎない限りにおいて、増大したケイ素レベルは、オーステンパ中の、脆化させるベイナイト(フェライト+セメンタイト $Fe_3C$ )の形成をさらに遅延させるか、又は完全に防止する。このベイナイト炭化物の「上側オースフェライト」における自由は、延性特性をもたらす(低ケイ素含有鋼において、同様の温度で得られる「上側ベイナイト」は、その炭化物の位置ゆえに脆弱である)。従来のダクタイル鉄のオーステンパが低温で行われる場合、そのケイ素含有量は、約2.3重量%から2.7重量%であり、「下側オースフェライト」におけるベイナイト炭化物の形成を完全に防止するためには十分でない。このような微細構造は、その主相として微細な針状フェライトと、薄い炭素安定化オーステナイトと、いくつかのベイナイト炭化物とを含んでおり、延性の減少、疲労強度の減少、及び、被削性の減少がもたらされる。

10

#### 【0008】

近年、3重量%よりも高いケイ素含有量を有する鋳放しダクタイル鉄のグレードが標準化されており、そのマトリックスは、増大した固溶強化を有する完全なフェライト系であり、同じ最大抗張力を有する従来のフェライト パーライトダクタイル鉄と比較して、増大した降伏力及び延性を同時に提供している。

#### 【0009】

このような溶体強化されたダクタイル鉄は、近年、本発明の発明者によるSiSSADI(登録商標)(ケイ素固溶強化ADI)コンセプトの開発において、オーステンパの前駆体として用いられてきた。完全なオーステナイト化を得るためには、より高い温度が必要であり(相図におけるオーステナイトの領域は、ケイ素の増大と共に収縮するからである)、さもないれば、何らかの残存する初析晶フェライトが、焼き入れの間の焼入性を減少させると共に(オーステナイトにおけるパーライトの核生成は遅いが、残存する初析晶フェライト上でのパーライトの成長は速いからである)、結果として生じる機械的特性を減少させる(形成され得るオースフェライトがより少ないからである)。ケイ素が増加することによる利点には、オーステナイト化に要する時間(炭素の拡散が温度と共に急速に増大するので)とオーステンパに要する時間(ケイ素がフェライトの沈殿を促進するので)とが両方短くなること、針状フェライトの溶体強化が増大すること、 $M_s$  のわずかに上で形成された「下側オースフェライト」におけるベイナイト炭化物の自由、及び、結果として、同時に強度と延性とが改善されること、が含まれる。

20

30

#### 【0010】

オースフェライト鋼は、鋼が、ベイナイト炭化物の沈殿を減少させる、又は、防止するために十分なケイ素を含んでいるという条件において、オースフェライト鉄の場合と同様の熱処理によって得られる。ベイナイトの代わりに、オースフェライト(ベイナイト炭化物を含有しないか、又は、含有量は少ない)を形成するためのオーステンパに適した圧延鋼材商品の一例は、0.55重量%の炭素、1.8重量%のケイ素、及び、0.8重量%のマンガンという、典型的な組成を有するバネ鋼EN1.5026である。十分に高いケイ素含有量を有する鋼がオーステンパされる場合、それらは通常「スーパーベイナイト」と呼ばれ、形成されたフェライトを離れる炭素の大部分が、ベイナイト炭化物を形成するのではなく、周囲のオーステナイトを増加させ、安定化することを示唆している。

40

#### 【0011】

オースフェライト(スーパーベイナイト)鋼の分野における近年の開発は、フェライト中の炭素含有量は、 $M_s$  のわずかに上で(炭素安定化オーステナイトが形成されることは非常に少ない)オーステンパされた場合、0.3重量%に到達するであろうと見積もっており、この値は、0.02重量%という一般的に予想される平衡値よりもはるかに大きい。増大したケイ素含有量からオーステンパを行う間の付加的な利点は、金属相(オーステナイト及びフェライト)内に炭素を保持することの他に、より小さいケイ素原子がより大きい鉄原子を置換するフェライト格子の局部収縮が、ケイ素原子から遠く離れたいくつかの格子間位置を同時に拡張し、従って、フェライト中の炭素含有量を増大させることを可

50

能にするということであり得る。置換型ケイ素及び格子間炭素からの複合溶体強化は、オースフェライト構造の細かさ及びベイナイト炭化物の低い含有量と共に、焼き戻しされたマルテンサイト又はベイナイトを含む従来の硬化鋼と比較して優れた機械的特性の一因となる。

【0012】

しかしながら、オースフェライト（スーパーベイナイト）鋼の分野における先行技術は、そのADIとの類似性に関わらず、今のところ、溶体強化されたオースフェライトダクタイル鉄中と同じ高さのケイ素含有量、すなわち3重量%を超えるケイ素含有量を有する、殆ど覆われていない鋼を有している。

【0013】

例えば、特許文献1は、以下の組成を有する合金鋼を開示している：不可避の不純物と共に、0.6重量%から1.0重量%の炭素、0.5重量%から2.0重量%のケイ素、1.0重量%から4.0重量%のクロム、及び、任意で以下から1つ又は複数：0重量%から0.25重量%のマンガン、0重量%から0.3重量%のモリブデン、0重量%から2.0重量%のアルミニウム、0重量%から3.0重量%のコバルト、0重量%から0.25重量%のバナジウム、及び、バランス鉄（the balance iron）。合金鋼の微細構造は、ベイナイト、より好ましくはスーパーベイナイトを含んでいる。特許文献1には、以下のように記されている：「ケイ素の添加は有利である。なぜなら、それによって、炭化物（セメントイト）の形成が抑制されるからである。ケイ素の含有量が0.5重量%よりも低い場合、セメントイトは、低い温度において、スーパーベイナイトの形成を回避しながら形成されるであろう。しかしながら、ケイ素の含有量が高すぎる（例えば2重量%を超える）場合、望ましくない表面酸化物及び乏しい表面仕上げがもたらされ得る。好ましくは、鋼の組成は、1.5重量%から2.0重量%のケイ素を含んでいる。」

【0014】

オーステンバ鋼の先行技術において発見された、ケイ素含有量が3重量%を超えた例は2つのみである：

【0015】

第1の例は、3.85重量%のケイ素と組み合わせた、0.9重量%という非常に高い炭素含有量を有する合金を用いたものである。非特許文献1を参照のこと。このような高い炭素含有量は、オースフェライト構造にとって有利ではない。なぜなら、ケイ素及び炭素の両方の含有量が非常に高い場合、完全なオーステナイト化に必要な温度も増大するからである（当該記事では1130で行われた）。さらに、針状フェライトの沈殿が、非常に高い炭素含有量によって遅延し、非常に高いケイ素含有量にも関わらず、多量のオーステナイトを有する比較的粗いオースフェライトのみが、炭化物の沈殿無しに、このような炭素含有量を含み得る。

【0016】

第2の例は、0.6重量%から0.8重量%の範囲における炭素含有量と組み合わせた、1.85重量%、2.64重量%、又は、3.80重量%のケイ素を含む3つの合金を用いたものである。非特許文献2を参照のこと。しかしながら、3つ全ての合金について、900という同じオーステナイト化温度が用いられたので、3.80重量%のケイ素サンプルの不完全なオーステナイト化と、微細構造内の多量の初析晶フェライトとがもたらされ、それによって、形成されるオースフェライトの量と、結果として生じる機械的特性とが減少する。第1の例では、高い炭素含有量は、第2の例と同様の欠点を生じさせた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献1】国際公開第2013/149657号

【非特許文献】

10

20

30

40

50

## 【0018】

【非特許文献1】G. Papadimitriou, J.M.R. Cenin, "Kinetic and Thermodynamic Aspects of the Bainite Reaction in a Silicon Steel", Materials Research Society Symposia Proceedings, 1983, Vol. 21, p. 747-774

【非特許文献2】Yanxiang Li, Xiang Chen, "Microstructure and mechanical properties of austempered high silicon cast steel", Materials Science and Engineering A, 2001, Vol. A308, p. 277-282

10

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0019】

本発明の目的は、高い強度並びに高い延性及び／又は破壊靱性の改善された組み合わせを有する、新しい種類のオーステンパ鋼を供給することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0020】

本目的は、高いケイ素含有量、すなわち3.1重量%から4.4重量%のケイ素含有量と、中間炭素含有量、すなわち0.4重量%から0.6重量%の炭素含有量を有するオーステンパ鋼によって、すなわち何らかの適切な化学組成を有するが、3.1重量%から4.4重量%のケイ素含有量と0.4重量%から0.6重量%の炭素含有量とを有するオーステンパ鋼によって達成される。オーステンパ鋼の微細構造は、オースフェライト系又はスーパーベイナイト系であり、すなわち、オーステンパ鋼の微細構造は、完全ではないとしても、主にオースフェライト系又はスーパーベイナイト系である。主にオースフェライト系又はスーパーベイナイト系の微細構造は、オーステンパ鋼が少量(5%~10%)のマルテンサイトを含み得るということの意味するよう意図されている。しかしながら、オーステンパ鋼は、何らかのパーライト又は初析晶フェライトを含んではない。

20

## 【0021】

このようなオーステンパ鋼は、少なくとも910、少なくとも920、少なくとも930、少なくとも940、少なくとも950、少なくとも960、又は、少なくとも970の温度における完全なオーステナイト化を含むオーステンパ熱処理によって得られるであろう。その際、鋼のケイ素含有量が高くなるほど、オーステナイト化を完了するために必要なオーステナイト温度も高くなる。

30

## 【0022】

発明者は、3.1重量%から4.4重量%という高いケイ素含有量と、0.4重量%から0.6重量%の中間炭素含有量とを有するオースフェライト／スーパーベイナイト鋼が、十分に高い温度で完全にオーステナイト化された場合(ケイ素含有量に依存する)、従来のオースフェライト／スーパーベイナイト鋼(3.0重量%より少ないケイ素含有量と、0.6重量%より大きい炭素含有量とを有する)に対して、いくつかの利点を有することを発見した。すなわち、熱処理効率と、結果として生じるオースフェライト／スーパーベイナイト鋼の機械的特性との両方において、改善が見られる。

40

## 【0023】

例えば、このようなオーステンパ鋼は、少なくとも1800MPaの抗張力と、少なくとも12%の破断伸度と、少なくとも150MPa・mの破壊靱性 $K_{JIC}$ と、を同時に示すことができる。ケイ素によるフェライトの沈殿及び成長の促進によって、オーステンパに要する時間は、0.4重量%から0.6重量%の中間炭素含有量を有するオーステンパ鋼に関しても減少する。加えて、3.1重量%から4.4重量%という高いケイ素含有量は、0.4重量%から0.6重量%の中間炭素含有量と共に、多量のオーステナイトを有する比較的粗いオースフェライト(比較的高いオーステンパ温度で形成される)におい

50

てだけではなく、少量のオーステナイトを有するより微細なオースフェライト（ $M_s$ に近い、低いオーステンパ温度で形成される）においても、炭化物の沈殿が回避され得ることを確実化するであろう。

#### 【0024】

本発明の一態様によると、オーステンパ鋼は、少なくとも3.2重量%、3.3重量%、3.4重量%、3.5重量%、3.6重量%、3.7重量%、3.8重量%、3.9重量%若しくは4.0重量%のケイ素含有量、及び/又は、少なくとも0.4重量%若しくは0.5重量%の炭素含有量を有している。付加的又は代替的に、オーステンパ鋼は、4.3重量%、4.2重量%、4.1重量%、4.0重量%、3.9重量%、3.8重量%、3.7重量%、3.6重量%若しくは3.5重量%の最大ケイ素含有量、及び/又は、0.6重量%若しくは0.5重量%の最大炭素含有量を有している。

10

#### 【0025】

本発明の一態様によると、オーステンパ鋼は、以下の組成を有している：

C 0.4重量%～0.6重量%

Si 3.1重量%～4.4重量%

Mn 最大4.0重量%

Cr 最大25.0重量%

Cu 最大2.0重量%

Ni 最大20.0重量%

Al 最大2.0重量%

Mo 最大6.0重量%

V 最大0.5重量%

Nb 最大0.2重量%

20

バランスFe及び通常発生する不純物。リン及び硫黄は、好ましくは最小限に抑えられる。

#### 【0026】

本書類において「最大」という言葉は、鋼が、問題となっている元素を0重量%から（すなわち0重量%を含む）指定された最大量まで含有することを意味するよう意図されている。従って、本発明に係るオーステンパ鋼が含有する当該元素は、焼入性又はその他の理由から必要である場合以外は、0重量%から0.1重量%という低いレベルで良い。しかしながら、本発明に係るオーステンパ鋼は、これらの元素の内少なくとも1つ又はいくつかを、プロセス及び/又は最終特性を最適化するために、より高いレベルで含んでいて良い。すなわち、指定された最大量を含むレベル、又は、指定された最大量に0.1重量%、0.2重量%若しくは0.3重量%以内で近いレベルである。

30

#### 【0027】

オースフェライト/スーパーベイナイト構造は、よく知られており、例えば、光学顕微鏡法、透過電子顕微鏡法（TEM）、走査電子顕微鏡法（SEM）、原子プローブ電界イオン顕微鏡法（APFIM）及びX線回折の内の少なくとも1つのような、従来の微細構造特性決定法技術によって決定され得る。

40

#### 【0028】

本発明のさらなる態様によると、オーステンパ鋼は、実質的に炭化物を含まない微細構造、又は、非常に小さい体積分率の炭化物、すなわち5体積%未満、2体積%未満、又は、好ましくは1体積%未満の炭化物を含む微細構造を有している。

#### 【0029】

本発明の一態様によると、前記態様の内のいずれかに係るオーステンパ鋼は、前記態様の内のいずれかに係る方法を用いることによって得られる。すなわち、増大するケイ素による相図におけるオーステナイト領域の減少に起因した、増大するケイ素含有量と共に増大するオーステナイト化温度を適用することによって得られる。

#### 【0030】

本発明は、高い強度及び延性を必要とする部材のためのオーステンパ鋼を製造するため

50

の方法、すなわち本発明に係るオーステンパ鋼を製造するための方法にも関する。当該方法は、3.1重量%から4.4重量%のケイ素含有量と0.4重量%から0.6重量%の炭素含有量とを有する合金からオーステンパ鋼を製造するステップを含んでいる。オーステンパ鋼は、十分に高いオーステナイト化温度における完全なオーステナイト化を含むオーステンパ熱処理によって得られる。その際、鋼のケイ素含有量が高くなるほど、オーステナイト化温度は高くなり、結果として生じるオーステンパ鋼の微細構造は、オースフェライト系又はスーパーベイナイト系である。

#### 【0031】

本発明の一態様によると、本発明に係る方法によって製造されるオーステンパ鋼は、少なくとも3.2重量%、3.3重量%、3.4重量%、3.5重量%、3.6重量%、3.7重量%、3.8重量%、3.9重量%若しくは4.0重量%のケイ素含有量、及び/又は、少なくとも0.4重量%若しくは0.5重量%の炭素含有量を有している。付加的又は代替的に、オーステンパ鋼は、4.3重量%、4.2重量%、4.1重量%、4.0重量%、3.9重量%、3.8重量%、3.7重量%、3.6重量%若しくは3.5重量%の最大ケイ素含有量、及び/又は、0.6重量%若しくは0.5重量%の最大炭素含有量を有している。

10

#### 【0032】

本発明の一態様によると、以下の組成を有するオーステンパ鋼が、本発明の一態様に係る方法を用いて製造され得る：

C 0.4重量%～0.6重量%

Si 3.1重量%～4.4重量%

Mn 最大4.0重量%

Cr 最大25.0重量%

Cu 最大2.0重量%

Ni 最大20.0重量%

Al 最大2.0重量%

Mo 最大6.0重量%

V 最大0.5重量%

Nb 最大0.2重量%

20

バランスFe及び通常発生する不純物。リン及び硫黄は、好ましくは最小限に抑えられる。

30

#### 【0033】

本発明の別の態様によると、当該方法は、ケイ素の含有量に応じて、少なくとも910、少なくとも920、少なくとも930、少なくとも940、少なくとも950、少なくとも960、又は、少なくとも970の温度において、鋼を完全にオーステナイト化するステップを含んでおり、その際、鋼のケイ素含有量が高くなると、オーステナイト化温度も高くなる。

#### 【0034】

本発明の一態様によると、当該方法は、以下のステップを含んでいる：

a) 3.1重量%から4.4重量%のケイ素含有量及び0.4重量%から0.6重量%の炭素含有量を有する鋼を含む溶融物を形成するステップ；

40

b) 前記溶融物から、部材又は半製品のバーを鑄造するステップ；

c) 前記部材又は半製品のバーを、冷却の前に鍛造するか、又は、直接冷却した後、任意で鍛造及び後続の冷却を行うステップ；

d) 前記冷却された部材、半製品のバー又は鍛造物を第1の温度において熱処理し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物を、所定の時間に亘って前記温度において保持し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物を完全にオーステナイト化するステップであって、鋼のケイ素含有量によってオーステナイト化温度がより高くなるステップ；

e) 前記熱処理された部材、半製品のバー又は鍛造物を、連続冷却変態(CCT)図におけるパーライト領域より下方であるが、 $M_s$ 温度よりは高い中間温度まで急冷する間の

50

パーライトの形成を防止するために十分な焼き入れ速度、例えば少なくとも 150 / 分の焼き入れ速度で焼き入れするステップ；

f) 部材、半製品のバー又は鍛造物を、 $M_s$  温度より高い 1 つ又は複数の温度において、所定の時間に亘り熱処理し、前記部材、半製品のバー又は鍛造物をオーステンパし、結果として、オースフェライト若しくはスーパーベイナイト鋼を得るステップ。

【0035】

本発明は、本発明の態様のいずれかに係るオーステンパ鋼を含んでいるか、又は、本発明の態様のいずれかに係る方法を用いて製造された部材、半製品のバー又は鍛造物にも関する。このような部材、半製品のバー又は鍛造物は、特に、鉱業、建設、農業、土木産業、製造業、鉄道業、自動車産業、林業、金属製造、自動車用途、エネルギー用途及び海洋用途、又は、非常に高いレベルの抗張力及び延性及び/若しくは破壊靱性及び/若しくは増大した疲労強度及び/若しくは高い耐摩耗性を同時に必要とするその他の用途、例えば、焼き入れ及び焼き戻しされたマルテンサイト鋼も、オーステンパされたベイナイト鋼も、十分な特性を有さないような用途、又は、厳密な仕様が一貫して満たされなければならないような用途で用いられるように意図され得るが、それに限定されるものではない。オーステンパ鋼は、例えばパネ、固定要素、ギア、ギアの歯、キー溝、高強度鋼部材、耐力構造、装甲等の部材、及び/又は、水素脆性に対して感受性が低くなくてはならないような部材を製造するために使用され得る。

10

【0036】

以下に、添付の図面を参照し、非限定的な例を用いて、本発明をさらに説明する。

20

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】本発明の一態様に係るオーステンパ熱処理サイクルを概略的に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

図1は、本発明の一態様に係るオーステンパ熱処理サイクルを示している。3.1重量%から4.4重量%のケイ素含有量及び0.4重量%から0.6重量%の炭素含有量を有する部材、半製品のバー又は鍛造物は、加熱され[ステップ(a)]、十分に高いオーステナイト化温度で(ケイ素含有量に応じて)、部材、半製品のバー又は鍛造物が完全にオーステナイトになり、炭素で飽和するまで、一時の間保持される[ステップ(b)]。当該部材、半製品のバー又は鍛造物は、例えば、重量物運搬車で使用するためのサスペンション又は伝動機構関連部材において用いられ得るものであり、パネハンガー、ブラケット、ホイールハブ、ブレーキキャリアー、タイミングギア、カム、カムシャフト、環状歯車、クラッチカラー、軸受、又は、滑車等である。

30

【0039】

本発明の一態様によると、当該方法は、上述のオーステナイト化温度を、少なくとも30分間維持するステップを含んでいる。本発明の別の態様によると、オーステナイト化ステップは、炭素の酸化を防止するために、窒素雰囲気、アルゴン雰囲気、又は、解離アンモニア雰囲気等の任意の還元雰囲気において行われる。オーステナイト化は、高温の塩浴、炉、又は、炎若しくは誘導加熱等の局所的手法を用いて実施しても良い。

40

【0040】

部材、半製品のバー又は鍛造物がオーステナイト化された後、好ましくは部材が完全にオーステナイト化された後、150 / 分以上の高い焼き入れ速度において、焼き入れ剤において焼き入れされ[ステップ(c)]、合金の $M_s$  温度よりも高いオーステンパ化温度で、セクションの大きさに応じて30分から2時間等の所定の時間に亘って保持される[ステップ(d)]。当該ステップにおける「所定の時間」という表現は、当該部材又は少なくともその一部において、オースフェライト/スーパーベイナイトのマトリックスを製造するために十分な時間を意味するよう意図されている。オーステンパステップは、塩浴、熱油、又は、溶融鉛若しくは溶融スズを用いて行われ得る。完全な熱処理は、熱間等静圧圧縮成形(HIP)の条件下で、非常に高いガス圧における焼き入れが可能な装置内

50

で行われ得る。

【0041】

オーステンパ処理は、好ましくは等温であるが、必ずしも等温でなくとも良い。つまり、相の割合 (phase fractions) と、部材の微細構造内に結果として生じる炭素含有量とを調整するため、及び、低温における針状フェライトの核生成速度の増大と高温における成長とによって処理時間を減少させるために、多段階変態温度スケジュールを採用しても良い。

【0042】

オーステンパの後、部材、半製品のバー又は鍛造物は、室温にまで冷却される [ステップ (e)]。その後、鋼の部材、半製品のバー又は鍛造物は、通常の動作サイクルにおいて、圧力、ひずみ、衝撃、及び / 又は、摩耗に曝露されやすい用途で用いられ得る。

10

【0043】

本発明の一態様によると、当該方法は、部材、半製品のバー又は鍛造物が鑄造された後、オーステナイト化ステップの前に、所望の公差が得られるまで当該部材、半製品のバー又は鍛造物の機械加工を行うステップを含んでいる。すなわち、オーステナイト化及びオーステンパステップの前に、部材、半製品のバー又は鍛造物の必要な機械加工を可能な限り実行することが好ましい。例えば個別の表面処理が必要である場合、代替的又は付加的に、オーステンパステップの後で、部材、半製品のバー又は鍛造物の機械加工を行っても良い。部材、半製品のバー又は鍛造物は、例えば機械加工及び / 又は研削によって、要求される最終寸法に仕上げられ、その後、任意でホーニング仕上げ、ラップ仕上げ、又は、

20

【0044】

本発明の一態様によると、以下の組成を有するオーステンパ鋼が、本発明の一態様に係る方法を用いて製造され得る：

C 0.4重量% ~ 0.6重量%

Si 3.1重量% ~ 4.4重量%

Mn 最大4.0重量%

Cr 最大25.0重量%

Cu 最大2.0重量%

Ni 最大20.0重量%

Al 最大2.0重量%

Mo 最大6.0重量%

V 最大0.5重量%

Nb 最大0.2重量%

30

バランス Fe 及び通常発生する不純物。リン及び硫黄は、好ましくは最小限に抑えられる。

【0045】

本発明に係るオーステンパ鋼は、不可避の不純物を含み得ると評価されるであろう。しかしながら、これらの不純物は、合計で、組成物の0.5重量%を超過することはなさそうであり、好ましくは組成物の0.3重量%よりも多くはなく、より好ましくは組成物の0.1重量%よりも多くはない。オーステンパ鋼合金は、基本的に、これまでに挙げた元素を含んでいて良い。従って、必須の元素に加えて、その他の指定されていない元素が、組成物の本質的特徴がその存在によって大きく影響を受けることはないという条件で、組成物中に存在し得ると評価されるであろう。

40

【0046】

[実施例]

以下の組成を有するオーステンパ鋼が、本発明の一態様に係る方法を用いて製造され得る：

C 0.5重量%

Si 3.5重量%

50

M n 0 . 1 重量 %  
 C r 1 . 0 重量 %  
 N i 2 . 0 重量 %  
 M o 0 . 2 重量 %

バランス F e 及び通常発生する不純物。リン及び硫黄は、好ましくは最小限に抑えられる。

【 0 0 4 7 】

このような鋼は、920 のオーステナイト化温度において、30分間に亘り、鋼が完全にオーステナイト化されるまでオーステナイト化され得る。焼き入れ剤における焼き入れの後、鋼は、320 で2時間に亘ってオーステンバされ得る。等温のオーステンバの後、部材、半製品のバー又は鍛造物は、室温にまで冷却され得る。

10

【 0 0 4 8 】

920 より高いオーステナイト化温度は、ケイ素含有量が3.5重量%よりも大きいオーステンバ鋼を完全にオーステナイト化するために用いられなければならないだろう。

【 0 0 4 9 】

請求項の範囲内での本発明のさらなる変更は、当業者には明らかであろう。例えば、本発明の特定の態様に関して記載された特徴若しくは方法のステップ、又は、特徴若しくは方法のステップの組み合わせを、本発明の別の態様に組み込んでも良いことに注目すべきである。

【 図 1 】

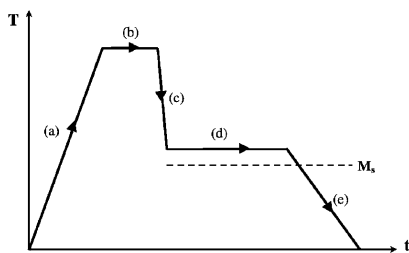


Fig. 1

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/SE2015/050826

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC: see extra sheet		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC: C21D, C22C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
SE, DK, FI, NO classes as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal, PAJ, WPI data, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, IBM-TDB, Alloys		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LI, Y., CHEN, X. "Microstructure and mechanical properties of austempered high silicon cast steel" In: Materials Science and Engineering: A, 30 June 2001, Volume 308, Issues 1-2, pp 277-282; abstract; page 278, column 1, paragraph [0003] - page 278, column 1, paragraph [0004]; page 278, column 1, paragraph [0006] - page 278, column 1, paragraph [0006]; table 1, page 278 --	1-13
A	KRAUSS, G. Steels: heat treatment and processing principles, Ohio: ASM International, 2000, ISBN 0-87170-370-X; page 267 --	9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
18-12-2015		18-12-2015
Name and mailing address of the ISA/SE Patent- och registreringsverket Box 5055 S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. + 46 8 666 02 86		Authorized officer Anna-Maj Magnusson Telephone No. + 46 8 782 28 00

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**
 International application No.  
**PCT/SE2015/050826**

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6203634 B1 (VOLKMUTH JOHANN), 20 March 2001 (2001-03-20); abstract; figure 3 --	1-13
A	US 6843867 B1 (FOERSTER LOTHAR ET AL), 18 January 2005 (2005-01-18); abstract; figure 1 -- -----	1-13

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/SE2015/050826

**Continuation of:** second sheet

**International Patent Classification (IPC)**

**C21D 1/20** (2006.01)

**C22C 38/34** (2006.01)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
**PCT/SE2015/050826**

US	6203634 B1	20/03/2001	DE	19849681 C1	05/01/2000
			FR	2785296 A1	05/05/2000
			GB	2344108 A	31/05/2000
			JP	4563534 B2	13/10/2010
			JP	2000129361 A	09/05/2000
			SE	519887 C2	22/04/2003
			SE	9903880 L	29/04/2000
US	6843867 B1	18/01/2005	AT	295901 T	15/06/2005
			DE	19963973 C1	31/05/2001
			EP	1248862 A1	16/10/2002
			JP	5231700 B2	10/07/2013
			JP	2004510048 A	02/04/2004
			WO	0149888 A9	05/06/2003

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

C 2 1 D 6/00 1 0 1 L

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US