

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-85613  
(P2022-85613A)

(43)公開日 令和4年6月8日(2022.6.8)

(51)国際特許分類

C 2 2 C 30/00 (2006.01)  
C 2 2 C 38/00 (2006.01)  
C 2 2 C 38/58 (2006.01)  
C 2 1 D 6/00 (2006.01)

F I

C 2 2 C 30/00  
C 2 2 C 38/00 3 0 2 Z  
C 2 2 C 38/58  
C 2 1 D 6/00 1 0 2 N

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全19頁)

(21)出願番号 特願2020-197385(P2020-197385)  
(22)出願日 令和2年11月27日(2020.11.27)

(71)出願人 316015888  
三菱重工エンジン&ターボチャージャ株式会社  
神奈川県相模原市中央区田名3 0 0 0 番地  
(74)代理人 100149548  
弁理士 松沼 泰史  
(74)代理人 100162868  
弁理士 伊藤 英輔  
(74)代理人 100161702  
弁理士 橋本 宏之  
(74)代理人 100189348  
弁理士 古都 智  
(74)代理人 100196689  
弁理士 鎌田 康一郎

最終頁に続く

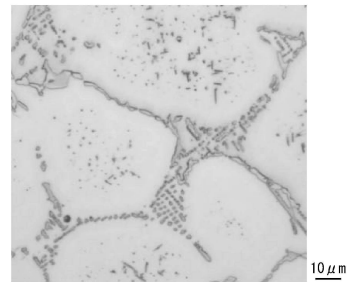
(54)【発明の名称】 オーステナイト系ステンレス鋳鋼およびオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法

(57)【要約】

【課題】低コスト、かつ、優れた耐熱性を備えるオーステナイト系ステンレス鋳鋼およびその製造方法を提供する。

【解決手段】本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、1 0 0 0 で加熱したときの断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径5 0 0 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数N cが $6 . 0 \times 1 0^{-2}$ 個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であり、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径5 0 0 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数をN g bとしたとき、N g b / N cが1 . 3以下である。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

1000 で加熱したときの断面において、  
 オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数 $N_c$ が $6.0 \times 10^{-2}$ 個/ $\mu m^2$ 以上であり、  
 オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径500nm以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_{gb}$ としたとき、 $N_{gb}/N_c$ が1.30以下である、オーステナイト系ステンレス鋼。

## 【請求項 2】

前記 $N_{gb}/N_c$ が0.5未満である、請求項1に記載のオーステナイト系ステンレス鋼。 10

## 【請求項 3】

倍率300倍の光学顕微鏡観察において炭化物が観察されない領域である無析出領域を有し、  
 前記無析出領域の幅が $1.5 \mu m \sim 20 \mu m$ である、請求項2に記載のオーステナイト系ステンレス鋼。

## 【請求項 4】

前記 $N_{gb}/N_c$ が0.50~1.30である、請求項1に記載のオーステナイト系ステンレス鋼。

## 【請求項 5】

1000 加熱前の断面において、  
 オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数 $N_c$ が $6.0 \times 10^{-2}$ 個/ $\mu m^2$ 以上であり、  
 オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径500nm以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_{gb}$ としたとき、 $N_{gb}/N_c$ が0.50~1.30である、請求項1に記載のオーステナイト系ステンレス鋼。 20

## 【請求項 6】

前記オーステナイト系ステンレス鋼の化学組成が、質量%で、  
 C：0.3%~0.5%、  
 Mn：2.0%以下、 30  
 P：0.04%以下、  
 S：0.03%以下、  
 Si：1.0%~2.5%、  
 Ni：36%~39%、  
 Cr：18%~21%、  
 Mo：0.5%以下、  
 Nb：1.2~1.8%、  
 残部が鉄および不純物からなる、請求項1~5のいずれか1項に記載のオーステナイト系ステンレス鋼。

## 【請求項 7】

1100 ~ 1250 の加熱温度で加熱を行う加熱工程を備える、オーステナイト系ステンレス鋼の製造方法。 40

## 【請求項 8】

前記加熱工程後に前記加熱温度から500 まで平均冷却速度65 /時間未満で冷却する徐冷工程を備える、請求項7に記載のオーステナイト系ステンレス鋼の製造方法。

## 【請求項 9】

前記加熱工程後に前記加熱温度から500 まで平均冷却速度900 /時間以上で冷却する冷却工程を備える、請求項7に記載のオーステナイト系ステンレス鋼の製造方法。

## 【請求項 10】

前記冷却工程後に、900 ~ 1050 の温度域で1時間以上加熱する時効工程と、 50

前記時効工程の前記温度域から室温まで平均冷却速度 900 / 時間以上で冷却する第 2 の冷却工程と、  
を備える、請求項 9 に記載のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法。

【請求項 11】

前記オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成が、質量%で、

C : 0.3% ~ 0.5%、

Mn : 2.0% 以下、

P : 0.04% 以下、

S : 0.03% 以下、

Si : 1.0% ~ 2.5%、

Ni : 36% ~ 39%、

Cr : 18% ~ 21%、

Mo : 0.5% 以下、

Nb : 1.2 ~ 1.8%、

残部が鉄および不純物からなる、請求項 7 ~ 10 のいずれか 1 項に記載のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、オーステナイト系ステンレス鋳鋼およびオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

ターボチャージャーやガスタービンを使用時に高温となる。そのため、ターボチャージャーやガスタービンに用いられる材料には、耐酸化性、高温時の高強度、熱疲労特性などの優れた耐熱性が要求される。

【0003】

耐熱性の条件を満たす材料としては、オーステナイト系ステンレスや Ni 基合金がある。例えば、特許文献 1 には、Ni を主成分とし、これに高温耐食性に必要な量の Cr と、炭化物形成元素で且つ固溶強化に必要な量の固溶強化型元素とが含有されている鋳物からなり、マトリックス中に共晶炭化物および所望の大きさの 2 次炭化物が分散した組織を有することを特徴とするガスタービン用ノズルが開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開昭 57 - 32348 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献 1 に開示のガスタービン用ノズルは、高価な Ni 基合金から構成されており、より低コストの材料が求められている。また、現在、ターボチャージャーにおいては、燃費性能を向上させるため、排ガス温度は上昇傾向にあり、従来のオーステナイト系ステンレス鋳鋼よりも高い温度での耐熱性が求められている。

40

【0006】

本開示は、上記課題を解決するためになされたものであって、低コスト、かつ、優れた耐熱性を備えるオーステナイト系ステンレス鋳鋼およびその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、1000 で加熱したときの断面にお

50

いて、円相当径 500 nm 以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上であり、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径 500 nm 以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_{gb}$  としたとき、 $N_{gb} / N_c$  が 1.30 以下である。

【0008】

本開示に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は、鋳造後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼に、1100 ~ 1250 の加熱温度で加熱を行う加熱工程を備える。

【発明の効果】

【0009】

本開示の上記態様によれば、低コスト、かつ、優れた耐熱性を備えるオーステナイト系ステンレス鋳鋼およびその製造方法を提供することができる。 10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本開示の第1の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の加熱後の光学顕微鏡像である。

【図2】本開示の第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の加熱後の光学顕微鏡像である。

【図3】本開示の第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の加熱前の光学顕微鏡像である。

【図4】本開示の第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の加熱前の光学顕微鏡像である。 20

【図5】従来のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の加熱後の光学顕微鏡像である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明者らが耐熱性の向上について鋭意検討したところ、以下のことが分かった。

(1) 繰り返しの熱応力によって、従来のオーステナイト系ステンレス鋳鋼では割れが発生する場合がある。

(2) 従来のオーステナイト系ステンレス鋳鋼では、図5の円で囲った領域に示すように、加熱によって、オーステナイト結晶粒の粒界近傍に過剰な炭化物が析出する。

(3) 従来のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の場合、オーステナイト結晶粒の粒界近傍に過剰な炭化物が析出することで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼が脆化し、亀裂が粒界の炭化物に沿って進展する。 30

【0012】

上記の分析を基に、本発明者らが鋭意検討したところ、以下の知見が得られた。

(A) オーステナイト系ステンレス鋳鋼を加熱した後の断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_c$  とし、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_{gb}$  としたとき、 $N_{gb} / N_c$  が 1.30 以下であると、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化を抑制することができる。

本発明は、上記の知見に基づいて、本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の構成を決定した。なお、本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、熱処理によって、析出物を制御するため、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径 500 nm 以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上である。本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、上記の効果により、高い耐熱性を得ることができる。ここで、オーステナイト結晶粒の粒界近傍は、「オーステナイト結晶粒の粒界から 10  $\mu\text{m}$  までの領域」とし、オーステナイト結晶粒の中央部とは、「オーステナイトの粒界近傍以外の領域（ただし、無析出領域は除く）」とする。なお、本明細書において、「~」を用いて表される数値範囲は、「~」の前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。なお、本明細書において、加熱温度などの温度はオーステナイト鋳鋼の表面の温度とする。 40

## 【 0 0 1 3 】

## &lt; 第 1 の実施形態 &gt;

第 1 の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼について以下、説明する。

## 【 0 0 1 4 】

(  $N_c = 6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上 )

第 1 の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼を 1000 で加熱したときの断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径 500 nm 以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば 30 分である。ここで、円相当径とは、粒子の投影面積と等しい面積を持つ円の直径を言う。より好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.5 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。さらに好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $7.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。本実施形態において、炭化物の析出を熱処理によって制御することから、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径 500 nm 以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上となる。第 1 の実施形態に係るオーステナイト系鋳鋼については、1000 加熱前に  $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上であってもよい。

10

## 【 0 0 1 5 】

炭化物は、金属元素を M ( M : Fe, Cr, Nb ) とし、炭素元素を C としたときに、 $M_2C_3$  であることが好ましい。炭化物については、例えば、エネルギー分散型 X 線分光法 ( EDX ) で分析することができる。

20

## 【 0 0 1 6 】

(  $N_c$  の測定方法 )

炭化物の単位面積当たりの平均個数は、以下の方法で測定できる。1000 加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する ( 倍率 1000 倍 )。図 1 は、第 1 の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の光学顕微鏡像である。図 1 の場合では、炭化物は、オーステナイト結晶粒の中央部において、黒い領域として現れる。得られた観察像の結晶粒内の任意の箇所 10 か所において、直径 10  $\mu m$  の正円内における円相当径 500 nm 以上の炭化物の個数を計測し、得られた炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、単位面積当たりの平均個数  $N_c$  を算出することができる。

30

## 【 0 0 1 7 】

(  $N_{gb} / N_c : 0.50$  未満 )

第 1 の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼を 1000 加熱した後の断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径 500 nm 以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_c$  とし、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径 500 nm 以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_{gb}$  としたとき、 $N_{gb} / N_c$  が 0.50 未満である。より好ましい  $N_{gb} / N_c$  は、0.40 以下である。さらに好ましい  $N_{gb} / N_c$  は、0.30 以下である。 $N_{gb} / N_c$  は、0.02 以上であってもよい。第 1 実施形態の場合、加熱によって、オーステナイト結晶粒の粒界近傍において、炭化物が析出する数が低くなる。これにより、金属組織の延性を高めることができる。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば 30 分である。第 1 の実施形態に係るオーステナイト系鋳鋼については、1000 加熱前に  $N_{gb} / N_c$  が 0.50 未満であってもよい。

40

## 【 0 0 1 8 】

(  $N_{gb} / N_c$  の測定方法 )

$N_{gb} / N_c$  は、以下の方法で測定できる。1000 加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する ( 倍率 1000 倍 )。得られた観察像において、結晶粒の中央部と粒界近傍において、それぞれ任意の箇所 10 か所を選び各々の箇所において 10  $\mu m$  の正円内における、円相当径 500 nm 以上の炭化物の個数を計測する。得られた中央部の炭化物の個数と炭化物

50

を計測した領域の面積とから  $N_c$  を算出する。また、得られた粒界近傍の炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、 $N_{gb}$  を算出することができる。得られた  $N_{gb}$  および  $N_c$  より  $N_{gb} / N_c$  を算出する。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば30分である。

【0019】

(無析出領域の平均幅が  $1.5 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ )

第1の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼を1000 加熱した後の断面において、オーステナイト結晶粒内に倍率300倍の光学顕微鏡観察において炭化物が観察されない領域である無析出領域が存在し、かつ、当該無析出領域の幅が  $1.5 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$  であることが好ましい。無析出領域が変形することによって、熱応力による亀裂の進展を抑制することができる。

10

【0020】

(無析出領域の平均幅の測定方法)

無析出領域の平均幅は、以下の方法で測定できる。1000 加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する(倍率300倍)。得られた観察像において、オーステナイト結晶粒の粒界付近の円相当径500nm以上の炭化物を任意に50個選択し、それぞれの炭化物と最も近い粒界との内接円を設定する。設定した50個の内接円の直径の平均値を算出し、その平均値を無析出領域の平均幅とする。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば30分である。

20

【0021】

(化学組成)

第1の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成は、例えば、質量%で、C: 0.3%~0.5%、Mn: 2.0%以下、P: 0.04%以下、S: 0.03%以下、Si: 1.0%~2.5%、Ni: 36%~39%、Cr: 18%~21%、Mo: 0.5%以下、Nb: 1.2~1.8%、残部が鉄および不純物である。以下、各元素について説明する。

【0022】

C: 0.3%~0.5%

Cは、炭化物を形成するための元素である。C含有量が、0.3%未満であると、適切な量の炭化物が形成されない場合がある。そのため、C含有量は、好ましくは0.3%以上である。C含有量が0.5%超であると、過剰な炭化物が形成される。そのため、C含有量は、好ましくは0.5%以下である。

30

【0023】

Mn: 2.0%以下

Mnは、脱酸効果を有し、また、オーステナイトの安定化に寄与する元素である。しかし、Mn含有量が2.0%超であると、オーステナイト系ステンレス鋳鋼が脆化する場合がある。そのため、Mn含有量は、好ましくは2.0%以下である。より好ましくは、Mn含有量は、1.5%以下である。Mn含有量は、さらに好ましくは、1.0%以下である。Mn含有量については、特に下限を設ける必要はないが、Mn含有量が極端に低いと、脱酸効果が十分に得られない。そのため、Mn含有量は、好ましくは0.0001%以上である。

40

【0024】

P: 0.04%以下

Pは、不純物として、オーステナイト系ステンレス鋳鋼に含有される。P含有量が、0.04%超であると、延性が低下する。そのため、P含有量は、好ましくは、0.04%以下である。P含有量は、より好ましくは、0.03%以下であり、さらに好ましくは、0.02%以下である。P含有量は、不純物であるので、可能な限り低減することが好ましいが、極度にP含有量を低くすると、製造コストが増大する。そのため、P含有量は、0.0001%以上とするのが好ましく、より好ましくは、0.0005%以上である。

50

## 【 0 0 2 5 】

S : 0 . 0 3 % 以下

S は、不純物として、オーステナイト系ステンレス鋳鋼に含有される。S 含有量が 0 . 0 3 % 超であると、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の延性が低下する場合がある。そのため、S 含有量は、好ましくは 0 . 0 3 % 以下である。より好ましい S 含有量は、0 . 0 2 % 以下である。S は、不純物であるので、可能な限り低減することが好ましいが、極度に S 含有量を低くすると、製造コストが増大する。そのため、S 含有量は、好ましくは、0 . 0 0 0 1 % 以上である。S 含有量は、より好ましくは、0 . 0 0 0 5 % 以上である。

## 【 0 0 2 6 】

S i : 1 . 0 % ~ 2 . 5 %

S i は、脱酸効果を有し、また、高温での耐食性、耐酸化性の向上に寄与する元素である。しかし、S i 含有量が 2 . 5 % 超となると、オーステナイトの安定性が低下して、靱性が低下する場合がある。そのため、S i 含有量は、好ましくは、2 . 5 % 以下である。S i 含有量は、より好ましくは 2 . 0 % 以下である。S i 含有量は、さらに好ましくは、1 . 5 % 以下である。S i 含有量が 1 . 0 % 未満であると、脱酸効果が十分に得られない場合がある。そのため、S i 含有量は、好ましくは、1 . 0 % 以上である。より好ましい S i 含有量は、1 . 1 % 以上である。

10

## 【 0 0 2 7 】

N i : 3 6 % ~ 3 9 %

N i は、オーステナイトを得るために有効な元素であり、オーステナイト安定性に寄与する元素である。N i が 3 6 % 未満の場合、上記の効果を得られない場合がある。そのため、N i 含有量は、好ましくは 3 6 % 以上である。N i を多量に含有させると、コストが増大する。そのため、N i 含有量は、好ましくは、3 9 % 以下である。N i 含有量は、より好ましくは、3 8 % 以下である。

20

## 【 0 0 2 8 】

C r : 1 8 % ~ 2 1 %

C r は、高温での耐酸化性の向上に寄与し、また、炭化物を形成するために必要な元素である。C r 含有量が 1 8 % 未満では、上記の効果を得られない場合がある。そのため、C r 含有量は、好ましくは、1 8 % 以上である。しかし、C r 含有量が 2 1 % 超であると、高温でのオーステナイトの安定性が低下する場合がある。そのため、C r 含有量は好ましくは、2 1 % 以下である。より好ましい C r 含有量は、2 0 % 以下である。

30

## 【 0 0 2 9 】

M o : 0 . 5 % 以下

M o は、固溶強化元素である。M o 含有量が 0 . 5 % 超であると、オーステナイトの安定性が低下する場合がある。そのため、M o 含有量は、好ましくは、0 . 5 % 以下である。M o 含有量は、より好ましくは、0 . 4 % 以下である。M o の効果を得るために、M o 含有量は、好ましくは 0 . 0 1 % 以上である。

## 【 0 0 3 0 】

N b : 1 . 2 ~ 1 . 8 %

N b は、炭化物を形成する元素である。N b 含有量が 1 . 2 % 未満であると、適切な炭化物が形成されない場合がある。そのため、N b 含有量は、好ましくは、1 . 2 % 以上である。N b 含有量は、より好ましくは、1 . 3 % 以上である。N b 含有量が 1 . 8 % 超であると、炭化物が多量に析出する場合がある。そのため、N b 含有量は、好ましくは、1 . 8 % 以下である。N b 含有量は、より好ましくは、1 . 7 % 以下である。

40

## 【 0 0 3 1 】

残部：鉄および不純物

本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成において、残部は、鉄および不純物である。ここで、不純物とは、オーステナイト系ステンレス鋳鋼を製造する際に、原料や製造工程において、混入する成分である。不純物は、本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の効果が得られる範囲で許容される。

50

## 【 0 0 3 2 】

オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成は、公知の方法を用い分析することができる。例えば、誘導結合プラズマ質量分析法などで測定することができる。

## 【 0 0 3 3 】

「オーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法」

第1実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、例えば、次の方法で製造される。オーステナイト系ステンレス鋳鋼を構成する組成成分を溶解し、得られた溶湯を所定の型枠に注入して、鋳鋼を得る。

## 【 0 0 3 4 】

(加熱工程)

次に、得られた鋳鋼に対し、1100 ~ 1250 の加熱温度で加熱を行う加熱工程を実施する。加熱温度が1100 ~ 1250 の温度範囲であれば、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。また、加熱時間が5分以上であれば、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。加熱時間の上限は特に限定されないが、60分以上加熱しても変化があまりないことから、60分としてもよい。

10

## 【 0 0 3 5 】

(徐冷工程)

加熱工程を実施した後の鋳鋼に対し、加熱温度から500 まで平均冷却速度100 / 時間未満で冷却する徐冷工程を実施する。徐冷中に、元素が炭化物として析出し成長する。平衡体積までは、炭化物が成長するが、平衡体積に到達した後は、オストワルド成長により、比較的小さい炭化物は消失し、比較的大きい炭化物は成長する。粒界には、粗大な炭化物があるので、粒界近傍の元素は、粒界にある粗大な炭化物に集まり成長することで、粒界近傍の炭化物は減少する。これにより、オーステナイト系ステンレス鋳鋼を1000 加熱したときの粒界の粗大な炭化物を減少させることができ、 $Ngb / Nc$ を0.5 未満にすることができるので好ましい。また、徐冷工程を実施することで、炭化物を平衡析出状態近くまで進行させることができ、高温使用中のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の安定性を高めることができる。

20

## 【 0 0 3 6 】

< 第2の実施形態 >

第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼について以下、説明する。

30

## 【 0 0 3 7 】

( $Nc = 6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上)

第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼を1000 加熱したときの断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば30分である。より好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.5 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。さらに好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $7.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。本実施形態において、炭化物の析出を熱処理によって制御することから、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu m^2$  以上である。

40

## 【 0 0 3 8 】

炭化物は、金属元素をM (M : Fe, Cr, Ngb) とし、炭素元素をCとしたときに、 $M_23C_6$  であることが好ましい。

## 【 0 0 3 9 】

(Ncの測定方法)

炭化物の単位面積当たりの平均個数は、第1の実施形態と同様の方法で測定できる。1000 で加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する(倍率1000倍)。図2は、第2の実施形

50

態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の1000 加熱後の光学顕微鏡像である。図2の場合では、炭化物は、オーステナイト結晶粒の中央部において、黒い領域として現れる。得られた観察像の任意の箇所10か所において、円相当径500nm以上の炭化物の個数を計測し、得られた炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、単位面積当たりの平均個数を算出することができる。

#### 【0040】

( $N_{gb} / N_c : 0.50 \sim 1.30$ )

第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼を1000 で加熱した後の断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500nm以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_c$ とし、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径500nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_{gb}$ としたとき、 $N_{gb} / N_c$ が0.50~1.30である。第2の実施形態では、オーステナイト結晶粒内に均一に炭化物が析出するため、金属組織の強度および絞りを高めることができる。ここで、絞りとは引張試験前の断面積に対する引張試験後の破断箇所における断面積の変化量をいう。より好ましい $N_{gb} / N_c$ は0.70以上である。さらに好ましい $N_{gb} / N_c$ は、0.85以上である。より好ましい $N_{gb} / N_c$ は、1.05以下である。さらに好ましい $N_{gb} / N_c$ は、1.00以下である。なお、1000 の加熱時間は特に限定されず、例えば30分である。

10

#### 【0041】

( $N_{gb} / N_c$ の測定方法)

$N_{gb} / N_c$ は、以下の方法で測定できる。1000 加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する(倍率1000倍)。得られた観察像において、オーステナイト結晶粒の中央部と粒界近傍において、それぞれ任意の箇所10か所を選び各々の箇所において10 $\mu$ mの正円内における、円相当径500nm以上の炭化物の個数を計測する。得られた結晶粒の中央部の炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから $N_c$ を算出する。得られた粒界近傍の炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、 $N_{gb}$ を算出することができる。得られた $N_{gb}$ および $N_c$ より $N_{gb} / N_c$ を算出する。

20

#### 【0042】

(化学組成)

第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の化学組成は、例えば、質量%で、C:0.3%~0.5%、Mn:2.0%以下、P:0.04%以下、S:0.03%以下、Si:1.0%~2.5%、Ni:36%~39%、Cr:18%~21%、Mo:0.5%以下、Nb:1.2~1.8%、残部が鉄および不純物である。

30

#### 【0043】

「オーステナイト系ステンレス鋼の製造方法」

第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼は、例えば、次の方法で製造される。オーステナイト系ステンレス鋼を構成する組成成分を溶解し、得られた溶湯を所定の型枠に注入して、鋼を得る。

#### 【0044】

(加熱工程)

次に、得られた鋼に対し、1100 ~ 1250 の加熱温度で加熱を行う加熱工程を実施する。加熱温度が1100~1250 の温度範囲であれば、オーステナイト系ステンレス鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。また、加熱時間が5分以上であれば、オーステナイト系ステンレス鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。加熱時間の上限は特に限定されないが、60分以上加熱しても変化があまりないことから、60分としてもよい。

40

#### 【0045】

(冷却工程)

加熱工程を実施した後の鋼に対し、加熱温度から500 まで平均冷却速度900 /

50

時間以上で冷却する冷却工程を実施する。ここで、冷却工程の平均冷却速度とは、加熱温度から500 までの平均の冷却速度をいう。冷却中に炭化物が過剰に析出することを防ぐために平均冷却速度は900 /時間以上とするのが好ましい。

【0046】

得られた第2の実施形態のオーステナイト系ステンレス鋼の1000 加熱前の光学顕微鏡像を図3に示す。図3に示すように、第2の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の製造方法で製造される場合、粒界炭化物の一部が固溶し、組織が均質化される。

【0047】

<第3の実施形態>

第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼について以下、説明する。

【0048】

( $N_c = 6.0 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上)

第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の1000 加熱前の断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上である。より好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.5 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上である。さらに好ましい炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $7.0 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上である。本実施形態において、炭化物の析出を熱処理によって制御することから、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上である。また、加熱前からオーステナイト系ステンレス鋼中に炭化物が析出しているため、高温時の強度が向上する。なお、第3実施形態のオーステナイト系ステンレス鋼において、1000 加熱後も、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数 $N_c$ は、 $6.0 \times 10^{-2}$  個/ $\mu m^2$  以上となる。

【0049】

炭化物は、金属元素をM (M: Fe, Cr, Nb)とし、炭素元素をCとしたときに、 $M_2C_6$ であることが好ましい。

【0050】

( $N_c$ の測定方法)

炭化物の単位面積当たりの平均個数は、以下の方法で測定できる。1000 加熱前のオーステナイト系ステンレス鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する(倍率1000倍)。図4は、第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の光学顕微鏡像である。図4の場合では、炭化物は、オーステナイト結晶粒の中央部において、黒い領域として現れる。得られた観察像の任意の箇所10か所において、円相当径500 nm以上の炭化物の個数を計測し、得られた炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、単位面積当たりの平均個数を算出することができる。

【0051】

( $N_{gb} / N_c : 0.50 \sim 1.30$ )

第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋼の1000 加熱前の断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径500 nm以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_c$ とし、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径500 nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_{gb}$ としたとき、 $N_{gb} / N_c$ が0.50~1.30である。第3の実施形態では、加熱前にオーステナイト結晶粒内に均一に炭化物が析出しているため、高温使用時の組織安定性が向上し、絞りを行うことができる。また、熱応力の繰り返しによる結晶粒界による割れを抑制することができるとともに、熱応力作用時の塑性変形量を低減することができる。より好ましい $N_{gb} / N_c$ は0.70以上である。さらに好ましい $N_{gb} / N_c$ は、0.85以上である。よりこのましい $N_{gb} / N_c$ は、1.05以下である。さらに好ましい $N_{gb} / N_c$ は、1.00以下である。なお、第3実施形態のオーステナイト系ステンレス鋼において、1000 加熱後も、

10

20

30

40

50

$N_{gb} / N_c$  は 0.50 ~ 1.30 となる。

【0052】

( $N_{gb} / N_c$  の測定方法)

$N_{gb} / N_c$  は、以下の方法で測定できる。1000 加熱前のオーステナイト系ステンレス鋳鋼を切断し、その切断面をピクリン酸塩酸エッチングし、光学顕微鏡で観察する(倍率1000倍)。得られた観察像において、結晶粒の中央部と粒界近傍において、それぞれ任意の箇所10か所を選び各々の箇所において10 $\mu$ mの正円内における、円相当径500nm以上の炭化物の個数を計測する。得られた中央部の炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから $N_c$ を算出する。得られた粒界近傍の炭化物の個数と炭化物を計測した領域の面積とから、 $N_{gb}$ を算出することができる。得られた $N_{gb}$ および $N_c$ より $N_{gb} / N_c$ を算出する。 10

【0053】

(化学組成)

第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成は、例えば、質量%で、C:0.3%~0.5%、Mn:2.0%以下、P:0.04%以下、S:0.03%以下、Si:1.0%~2.5%、Ni:36%~39%、Cr:18%~21%、Mo:0.5%以下、Nb:1.2~1.8%、残部が鉄および不純物である。

【0054】

「オーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法」

第3の実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、例えば、次の方法で製造される。オーステナイト系ステンレス鋳鋼を構成する組成成分を溶解し、得られた溶湯を所定の型枠に注入して、鋳鋼を得る。 20

【0055】

(加熱工程)

次に、得られた鋳鋼に対し、1100 ~ 1250 の加熱温度で加熱を行う加熱工程を実施する。加熱温度が1100~1200の温度範囲であれば、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。また、加熱時間が5分以上であれば、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学成分が結晶粒全体に均一に固溶するので、好ましい。加熱時間の上限は特に限定されないが、60分以上加熱しても変化があまりないことから、60分としてもよい。 30

【0056】

(冷却工程)

加熱工程を実施した後の鋳鋼に対し、加熱温度から500まで平均冷却速度900/時間以上で冷却する冷却工程を実施する。ここで、冷却工程の平均冷却速度とは、加熱温度から500までの平均の冷却速度をいう。冷却中に炭化物が過剰に析出することを防ぐために平均冷却速度は900/時間以上とするのが好ましい。

【0057】

(時効工程)

次に、得られた鋳鋼に対し、900 ~ 1050 の時効温度で1時間以上加熱を行う時効工程を実施する。時効温度が900 ~ 1050 の温度範囲であれば、均一な炭化物を析出することができるので、好ましい。また、加熱時間が1時間以上であれば、均一な炭化物を析出することができるので、好ましい。 40

【0058】

(第2の冷却工程)

時効工程を実施した後の鋳鋼に対し、時効温度から500まで平均冷却速度900/時間以上で冷却する第2の冷却工程を実施する。ここで、第2の冷却工程の平均冷却速度とは、時効温度から500までの平均の冷却速度をいう。冷却中に炭化物が過剰に析出することを防ぐために平均冷却速度は900/時間以上とするのが好ましい。

【0059】

なお、上記で説明した各実施形態に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法にお 50



できる。1000 30分で加熱した後のオーステナイト系ステンレス鋼を切断し、その切断面を硝酸電解腐食し、光学顕微鏡で観察した（倍率300倍）。得られた観察像において、オーステナイト結晶粒の粒界付近の円相当径500nm以上の炭化物を任意に50個選択し、それぞれの炭化物と最も近い粒界との内接円を設定した。設定した50個の内接円の直径の平均値を算出し、その平均値を無析出領域の平均幅とした。結果を表1に示す。表1中で0.0となっているものは無析出領域が無いことを示す。

**【0067】**

（0.2%耐力）

高温時の0.2%耐力は、JIS G0567:2012に準拠して測定した。試験片の形状は、JIS G0567:2012付属書A.5記載のつば付き試験片とした。試験温度は1000とした。結果を表1に示す。

10

**【0068】**

（引張強さ）

高温時の引張強さは、JIS G0567:2012に準拠して測定した。試験片の形状は、JIS G0567:2012付属書A.5記載のつば付き試験片とした。試験温度は1000とした。結果を表1に示す。

**【0069】**

（伸び）

高温時の伸びは、JIS G0567:2012に準拠して測定した。なお、伸びは破断伸びを測定した。試験片の形状は、JIS G0567:2012付属書A.5記載のつば付き試験片とした。試験温度は1000とした。結果を表1に示す。

20

**【0070】**

（絞り）

高温時の絞りは、JIS G0567:2012に準拠して測定した。試験片の形状は、JIS G0567:2012付属書A.5記載のつば付き試験片とした。試験温度は1000とした。結果を表1に示す。

**【0071】**

30

40

50

【表 1】

	熱処理	加熱後 Nb/Nc	加熱後 Nc (個/ $\mu\text{m}^2$ )	加熱後の 無析出領域の幅 ( $\mu\text{m}$ )	0.2% 耐力 (MPa)	引張 強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
比較例	鑄造まま	1.8	0.07	0.0	58	89	25	66
実施例1	固溶化+徐冷	0.1	0.10	9.3	46	80	38.5	66
実施例2	固溶化+空冷	0.9	0.19	0.0	73	104	20	72
実施例3	固溶化+時効	0.5	0.28	0.0	62	93	23	73

10

20

30

## 【0072】

以上より、本実施形態に係る実施例1～3のオーステナイト系ステンレス鑄鋼は、比較例1のオーステナイト系ステンレス鑄鋼よりも耐熱性に優れていた。

40

## 【0073】

実施例1のオーステナイト系ステンレス鑄鋼は、加熱後の円相当径500nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数Ncが $6.0 \times 10^{-2}$ 個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であり、Nb/Ncが0.50未満であったので、伸び性に優れていた。また、高温引張試験後の金属組織の観察の結果、炭化物の過剰析出を防止したことにより、粒界の炭化物に沿った亀裂の進展はほとんど認められず、き裂が結晶粒内に進展していたことから、脆化を抑制できていることが分かった。

## 【0074】

実施例2のオーステナイト系ステンレス鑄鋼は、加熱後の円相当径500nm以上の炭化

50

物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上であり、 $N_{gb} / N_c$  が  $0.50 \sim 1.30$  の範囲内であったので、 $0.2\%$  耐力、引張強さ、および絞りに優れていた。高温引張試験後において、絞りに優れていることから、延性が向上し、脆化を抑制できていることが分かった。

【0075】

実施例3のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、加熱後の円相当径  $500\text{nm}$  以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上であり、 $N_{gb} / N_c$  が  $0.50 \sim 1.30$  の範囲内であったので  $0.2\%$  耐力、引張強さ、および絞りに優れていた。高温引張試験後において、絞りに優れていることから、延性が向上し、脆化を抑制できていることが分かった。なお、表1には記載していないが、実施例3のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、 $1000$  加熱前の断面においても、 $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上であり、 $N_{gb} / N_c$  が  $0.50 \sim 1.30$  の範囲内であった。

10

【0076】

以上、本開示のオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、耐熱性に優れていた。

【0077】

<付記>

上記の実施形態に記載のオーステナイト系ステンレス鋳鋼およびオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は以下のように把握され得る。

【0078】

(1) 本開示の第1の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、 $1000$  で加熱したときの断面において、オーステナイト結晶粒の中央部の円相当径  $500\text{nm}$  以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数  $N_c$  が  $6.0 \times 10^{-2}$  個 /  $\mu\text{m}^2$  以上であり、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径  $500\text{nm}$  以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を  $N_{gb}$  としたとき、 $N_{gb} / N_c$  が  $1.30$  以下である。

20

【0079】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化を抑制することができる。

【0080】

(2) 本開示の第2の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(1)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼であって、前記  $N_{gb} / N_c$  が  $0.5$  未満である。

30

【0081】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化を抑制することができる。また、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の高温時の伸び性を向上することができる。

【0082】

(3) 本開示の第3の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(2)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼であって、倍率  $300$  倍の光学顕微鏡観察において炭化物が観察されない領域である無析出領域を有し、前記無析出領域の幅が  $1.5\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$  である。

【0083】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の高温時の伸び性をより向上することができる。

40

【0084】

(4) 本開示の第4の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(1)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼であって、前記  $N_{gb} / N_c$  が  $0.50 \sim 1.30$  である。

【0085】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化を抑制することができる。また、高温時の  $0.2\%$  耐力、引張強さ、および絞りを向上することができる。

【0086】

(5) 本開示の第5の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(1)のオーステナイト系鋳鋼であって、 $1000$  加熱前の断面において、オーステナイト結晶粒の中央

50

部の円相当径500nm以上の炭化物の単位面積当たりの平均個数 $N_c$ が $6.0 \times 10^{-2}$ 個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であり、オーステナイト結晶粒の粒界近傍の円相当径500nm以上の前記炭化物の単位面積当たりの平均個数を $N_{gb}$ としたとき、 $N_{gb}/N_c$ が0.50~1.30である。

【0087】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化を抑制することができる。また、高温時の0.2%耐力、引張強さ、および絞りを向上することができる。

【0088】

(6)本開示の第6の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(1)~(5)のいずれか1つのオーステナイト系ステンレス鋳鋼であって、前記オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成が、質量%で、C:0.3%~0.5%、Mn:2.0%以下、P:0.04%以下、S:0.03%以下、Si:1.0%~2.5%、Ni:36%~39%、Cr:18%~21%、Mo:0.5%以下、Nb:1.2~1.8%、残部が鉄および不純物からなる。

10

【0089】

このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋳鋼の脆化をより抑制することができる。

【0090】

(7)本開示の第7の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は、鋳造後のオーステナイト系ステンレス鋳鋼に、1100~1250の加熱温度で加熱を行う加熱工程を備える。

20

【0091】

このようにすることで、結晶粒全体に均一に元素を均一に固溶させることができる。

【0092】

(8)本開示の第8の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は、(7)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法であって、前記加熱工程後に前記加熱温度から500まで平均冷却速度65/時間未満で冷却する徐冷工程を備える。

【0093】

このようにすることで、炭化物を平衡析出状態近くまで進行させることができ、高温使用中のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の安定性を高めることができる。

30

【0094】

(9)本開示の第9の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼は、(7)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法であって、前記加熱工程後に前記加熱温度から500まで平均冷却速度900/時間以上で冷却する冷却工程を備える。

【0095】

このようにすることで、冷却中に炭化物が過剰に析出することを防ぐことができる。

【0096】

(10)本開示の第10の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は、(9)のオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法であって、前記冷却工程後に、900~1050の温度域で1時間以上加熱する時効工程と、前記時効工程の前記温度域から500まで平均冷却速度900/時間以上で冷却する第2の冷却工程と、を備える。

40

【0097】

このようにすることで、オーステナイト結晶粒内に均一な炭化物を析出させることができる。

【0098】

(11)本開示の第11の態様に係るオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法は、(7)~(10)のいずれか一つのオーステナイト系ステンレス鋳鋼の製造方法であって、前記オーステナイト系ステンレス鋳鋼の化学組成が、質量%で、C:0.3%~0.5%、Mn:2.0%以下、P:0.04%以下、S:0.03%以下、Si:1.0%~2

50

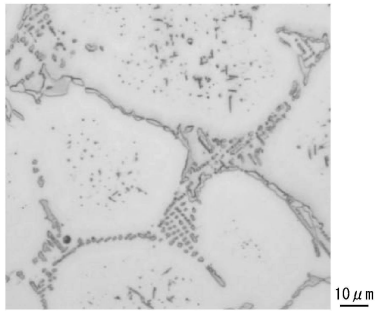
. 5 %、Ni : 36 % ~ 39 %、Cr : 18 % ~ 21 %、Mo : 0 . 5 % 以下、Nb : 1 . 2 ~ 1 . 8 %、残部が鉄および不純物からなる。

【 0 0 9 9 】

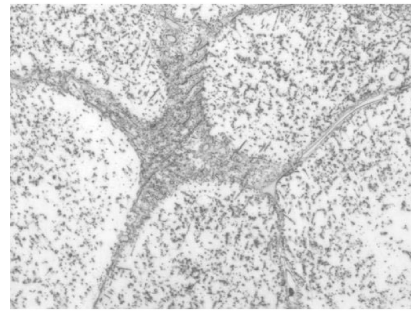
このようにすることで、オーステナイト系ステンレス鋼の脆化をより抑制することができる。

【 図 面 】

【 図 1 】

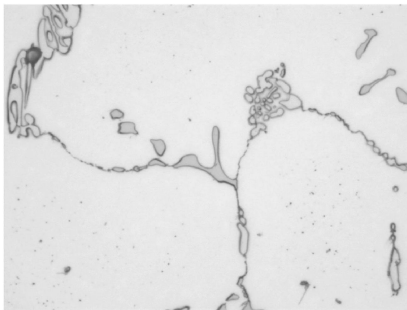


【 図 2 】

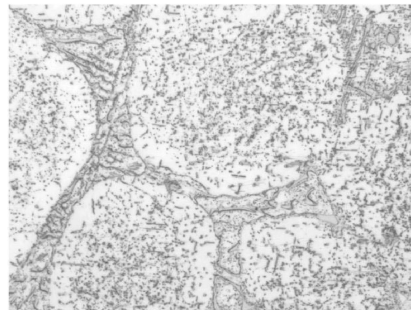


10

【 図 3 】



【 図 4 】



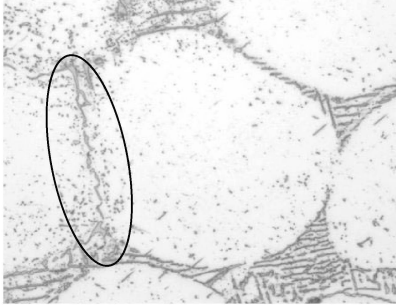
20

30

40

50

【 図 5 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (72)発明者 中村 忠暉  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 齋藤 伸彦  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 駒井 伸好  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 橋本 憩太  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 紺野 勇哉  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内