

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-43327

(P2010-43327A)

(43) 公開日 平成22年2月25日(2010.2.25)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 2 Z	
C 2 2 C 38/50 (2006.01)	C 2 2 C 38/50	
C 2 2 C 38/54 (2006.01)	C 2 2 C 38/54	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-208335 (P2008-208335)	(71) 出願人	000001258
(22) 出願日	平成20年8月13日 (2008.8.13)		J F E スチール株式会社
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
		(74) 代理人	100080687
			弁理士 小川 順三
		(74) 代理人	100077126
			弁理士 中村 盛夫
		(72) 発明者	中村 徹之
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
			F E スチール株式会社内
		(72) 発明者	加藤 康
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
			F E スチール株式会社内

最終頁に続く

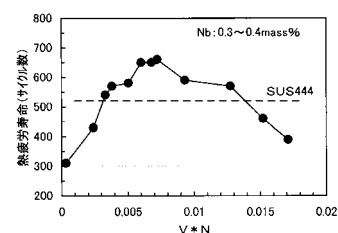
(54) 【発明の名称】 熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性に優れるフェライト系ステンレス鋼

(57) 【要約】

【課題】 Mo, WおよびCuを添加することなく優れた熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性の全てを兼備したフェライト系ステンレス鋼を提供する。

【解決手段】 mass%で、C:0.015%以下、Si:1.0%以下、Mn:0.5%以下、P:0.040%以下、S:0.010%以下、Al:0.03~0.30%、Cr:16~20%、Ni:0.5%以下、N:0.015~0.030%、V:0.30~0.60%、Nb:10(C+N)~0.60%、Ti:0.01%以下、Zr:0.01%以下、Ta:0.01%以下、Mo:0.1%以下、W:0.1%以下含有し、かつ、VおよびNが、(V×N):0.003~0.015を満たして含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる成分組成を有するフェライト系ステンレス鋼。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0.015 mass % 以下、
Si : 1.0 mass % 以下、
Mn : 0.5 mass % 以下、
P : 0.040 mass % 以下、
S : 0.010 mass % 以下、
Al : 0.03 ~ 0.30 mass %、
Cr : 16 ~ 20 mass %、
Ni : 0.5 mass % 以下、
N : 0.015 ~ 0.030 mass %、
V : 0.30 ~ 0.60 mass %、
Nb : 10 (C (mass %) + N (mass %)) ~ 0.60 mass %、
Ti : 0.01 mass % 以下、
Zr : 0.01 mass % 以下、
Ta : 0.01 mass % 以下、
Mo : 0.1 mass % 以下、
W : 0.1 mass % 以下含有し、かつ、
V および N の含有量 (mass %) の積 ($V \times N$) が、
($V \times N$) : 0.003 ~ 0.015 を満たして含有し、
残部が Fe および不可避免的不純物からなる成分組成を有することを特徴とする熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性に優れるフェライト系ステンレス鋼。

【請求項2】

上記成分組成に加えてさらに、B : 0.0004 ~ 0.0020 mass % および Co : 0.05 ~ 0.1 mass % のうちから選ばれる1種または2種を含有することを特徴とする請求項1に記載のフェライト系ステンレス鋼。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自動車やオートバイの排気管や触媒外筒材、火力発電プラントの排気ダクト等の高温環境下で使用される部材に用いて好適なCr含有鋼に関し、特に、優れた熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性のいずれをも兼ね備えたフェライト系ステンレス鋼に関するものである。

【背景技術】

【0002】

自動車のエキゾーストマニホールドや排気パイプ、コンバーターケース、マフラー等に代表される排気系環境下で使用される部材には、熱疲労特性や耐酸化性（以降、上記両特性を総称して「耐熱性」ともいう。）に優れていることが要求される。そのため、このような用途には、NbとSiを添加したType 429 (14Cr-0.9Si-0.4Nb系) 鋼のようなCr含有鋼が多く使用されている。しかし、エンジン性能の向上に伴って、排ガス温度が上昇し、現状より高温の900℃程度まで上昇してくると、Type 429 鋼では、熱疲労特性が不足してくるおそれがある。

【0003】

この問題に対しては、NbとMoを複合添加して高温耐力を向上させたCr含有鋼、例えば、JIS G4305に規定されるSUS444 (19Cr-2Mo-0.5Nb) 鋼や、Nb, Mo, Wを複合添加したフェライト系ステンレス鋼などが開発されている。しかし、希少金属であるMo, Wの昨今における異常なまでの価格高騰から、これらの元素を用いなくても同等の耐熱性を有する材料の開発が求められるようになってきている。

【0004】

高価な元素であるMoやWを用いなくて、耐熱性に優れた材料を得る技術としては、例

えば、特許文献1～3に開示されたものがある。これらの技術は、熱疲労特性を主にCu添加により向上させているのが特徴である。しかし、発明者らの研究によれば、Cuは、鋼自身の耐酸化性を低下させるだけでなく、加工性をも低下させる元素であることが明らかになってきた。そこで、MoやW以外に、Cuの添加をも極力控えた成分設計を行う必要性に迫られている。

【0005】

MoやW, Cuを用いずに耐熱性を高めた材料としては、特許文献4や特許文献5に開示された鋼がある。これらの鋼は、VN粒子の分散強化を利用して耐熱性の向上を図っているところに特徴がある。また、特許文献6には、V添加によって加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼の製造方法が、特許文献7には、V添加によって高温疲労特性に優れたフェライト系ステンレス熱延鋼板が開示されている。

10

【特許文献1】WO2003/004714号公報

【特許文献2】特開2006-117985号公報

【特許文献3】特開2000-297355号公報

【特許文献4】特開2001-316774号公報

【特許文献5】特開平07-070709号公報

【特許文献6】特開平06-158162号公報

【特許文献7】特開2000-144344号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0006】

しかしながら、発明者らの研究によれば、上記特許文献4～7に開示された鋼は、開示された技術内容に沿って製造しても、本発明が目的とする熱疲労特性や耐酸化性は得られないことがわかり、さらなる検討が必要であることが明らかになった。また、上記鋼は、SUS444と比較して耐高温塩害腐食性に劣る傾向にあることも明らかとなった。

【0007】

そこで、本発明の目的は、VN粒子の分散強化を利用した従来鋼をさらに改良し、Mo, WおよびCuを添加することなく優れた熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性の全てを兼備したフェライト系ステンレス鋼を提供することにある。ここで、本発明でいう「優れた熱疲労特性と耐酸化性」とは、SUS444と同等の特性を有すること、具体的には、200℃/850℃の熱疲労特性と1000℃における耐酸化性がSUS444と同等であることを、また、「優れた耐高温塩害腐食性」とは、700℃における高温塩害腐食試験による腐食減量がSUS444に比べて同等以上であることを意味する。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

発明者らは、従来のVN粒子の分散強化を利用した鋼では十分な耐熱性と耐高温塩害腐食性が得られない原因について、詳細な研究を重ねた。その結果、Nbを $10 \times (C(mass\%) + N(mass\%)) \sim 0.60 mass\%$ の範囲で含有する鋼において、Mo, WおよびCuを添加せずに高温強度を高めてSUS444と同等の熱疲労特性を実現し、併せてSUS444と同等以上の耐高温塩害腐食性を確保するためには、Nb, VおよびNの含有量を適正範囲に制御する必要があること、具体的には、Nの含有量を0.015～0.030 mass%、Vの含有量を0.30～0.60 mass%の範囲に制御し、なおかつVとNの含有量(mass%)の積($V \times N$)を0.003～0.015の範囲となるよう制御し、VNの粒子分散強化能を有効に活用する必要があること、さらに、熱疲労特性をより向上させるためには、上記Nb, V以外の窒化物形成元素であるTiやZr, Taの含有量をも規制する必要があることを見出した。また、1000℃における耐酸化性を向上し、SUS444と同等とするためには、Mnの含有量を規制する、具体的には、Mnを0.5 mass%以下とする必要があることを見出し、本発明を完成させた。

40

【0009】

50

すなわち、本発明は、C：0.015mass%以下、Si：1.0mass%以下、Mn：0.5mass%以下、P：0.040mass%以下、S：0.010mass%以下、Al：0.03～0.30mass%、Cr：16～20mass%、Ni：0.5mass%以下、N：0.015～0.030mass%、V：0.30～0.60mass%、Nb：10（C（mass%）+N（mass%））～0.60mass%、Ti：0.01mass%以下、Zr：0.01mass%以下、Ta：0.01mass%以下、Mo：0.1mass%以下、W：0.1mass%以下含有し、かつ、VおよびNの含有量（mass%）の積（ $V \times N$ ）が、 $(V \times N) : 0.003 \sim 0.015$ を満たして含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有することを特徴とする熱疲労特性、耐酸化性および耐高温塩害腐食性に優れるフェライト系ステンレス鋼である。

10

【0010】

本発明のフェライト系ステンレス鋼は、上記成分組成に加えてさらに、B：0.0004～0.0020mass%およびCo：0.05～0.1mass%のうちから選ばれる1種または2種を含有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、高価なMoやWを用いることなく、かつ、耐酸化性を低下させるCuを添加することなくSUS444と同等の耐熱性（熱疲労特性と耐酸化性）と、SUS444と同等以上の耐高温塩害腐食性を有するフェライト系ステンレス鋼を安価に提供することができる。したがって、本発明のフェライト系ステンレス鋼は、自動車の排気部材用として好適であり、産業上格段の効果を奏する。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の上記知見を得る契機となった基礎実験について説明する。

（実験1）まず、18mass%Cr含有鋼の熱疲労特性に及ぼすN含有量の影響について調査した。

C：0.005～0.010mass%、Si：0.10～0.30mass%、Mn：0.10～0.30mass%、Al：0.042～0.048mass%、Cr：17～18.5mass%、Nb：0.38～0.43mass%およびV：0.19～0.22mass%を含有し、Nの含有量を0.008～0.048mass%の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、得られた鋼塊を鍛造して30mm×30mmの角材とし、熱処理を施したのち、図1に示した形状、寸法の熱疲労試験片を作製した。次いで、この試験片を、図2に示したように、拘束率0.8で200℃と850℃の間で昇温・降温を繰り返す熱疲労試験に供し、200℃において検出された荷重が初期の80%を下回るまでのサイクル数で定義する「熱疲労寿命」を測定した。なお、比較材として、SUS444（18Cr-2Mo-0.5Nb鋼）についても、上記と同様にして熱疲労試験片を作製し、同様の熱疲労試験に供した。

30

【0013】

図3は、上記試験結果を、熱疲労寿命とN含有量との関係として示したものである。この図3から、SUS444より優れた熱疲労寿命が得られるNの含有量は0.015～0.040mass%の範囲であることがわかった。

40

【0014】

（実験2）次に、18mass%Cr含有鋼の熱疲労特性に及ぼすV含有量の影響について調査した。

C：0.005～0.010mass%、Si：0.10～0.30mass%、Mn：0.10～0.30mass%、Al：0.042～0.048mass%、Cr：17～18.5mass%、Nb：0.28～0.32mass%、N：0.019～0.022mass%を含有し、Vの含有量を0.11～0.71mass%の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、その後、上記実験1と同様にして、図1に示した熱疲労

50

試験片を作製し、図 2 に示した熱疲労試験に供して、熱疲労寿命を測定した。

【0015】

図 4 は、上記試験の結果を、熱疲労寿命と V 含有量との関係として示したものであり、V の含有量が 0.15～0.60 mass % の範囲において SUS 444 より優れた熱疲労寿命が得られることがわかった。

【0016】

(実験 3) 次に、18 mass % Cr 含有鋼の熱疲労特性に及ぼす V と N の含有量 (mass %) の積 ($V \times N$) の影響について調査した。

上記実験 1 および実験 2 に加えて、V および N 以外の成分組成を実験 1 および実験 2 と同じくし、V と N の含有量 (mass %) の積 ($V \times N$) の値を種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、上記実験 1 と同様にして、図 1 に示した熱疲労試験片を作製し、図 2 に示した条件の熱疲労試験に供して、熱疲労寿命を測定した。

【0017】

図 5 は、熱疲労寿命と ($V \times N$) との関係を示したものである。この図 5 から、V、N の含有量がそれぞれ実験 1 および 2 で得られた好適範囲内にある場合でも、($V \times N$) の値が 0.003 未満もしくは 0.015 超えであるときには、SUS 444 と同等の熱疲労寿命は得られない、したがって、SUS 444 と同等の熱疲労寿命を得るためには、V、N の含有量を上記実験 1 および 2 で得られた好適範囲に制御すると共に、($V \times N$) を 0.003～0.015 の範囲に制御する必要があることがわかった。

【0018】

このように、V と N の含有量 (mass %) の積 ($V \times N$) に熱疲労寿命を高める最適範囲が存在する理由は、($V \times N$) の値が小さ過ぎると、600～800℃の温度で鋼中に微細に析出する VN の量が少な過ぎるため、鋼を高強度化し熱疲労特性を向上する効果に乏しく、一方、($V \times N$) の値が大きくなり過ぎると、析出した VN が粗大化し、却って熱疲労特性を低下させてしまうためと考えている。

【0019】

(実験 4) 次に、Nb と同様、窒化物を形成する Zr、Ti および Ta が、18 mass % Cr 含有鋼の熱疲労寿命に及ぼす影響について調査した。

C: 0.005～0.010 mass %、Si: 0.19～0.22 mass %、Mn: 0.25～0.29 mass %、Al: 0.042～0.048 mass %、Cr: 17.9～18.1 mass %、Nb: 0.34～0.37 mass %、V: 0.19～0.24 mass %、N: 0.019～0.022 mass % を含有し、Zr、Ti および Ta の含有量をそれぞれ 0.003～0.020 mass %、0.003～0.014 mass %、0.003～0.015 mass % の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、上記実験 1 と同様にして、図 1 に示した熱疲労試験片を作製し、図 2 に示した条件で熱疲労試験に供し、熱疲労寿命を測定した。

【0020】

図 6 は、熱疲労寿命に及ぼす Zr、Ti および Ta の含有量の影響を示したものである。図 6 から、Zr、Ti および Ta がそれぞれ 0.01 mass % を超えて含有すると、SUS 444 と同等の熱疲労寿命は得られないことがわかる。この理由は、Zr、Ti および Ta を過剰に添加すると、VN の析出が抑制されて、本発明の特徴である VN 析出による分散強化効果が得られなくなるためと考えられる。したがって、熱疲労寿命を改善するためには、前述した V、N の含有量および ($V \times N$) の値を適正化するだけでなく、Zr、Ti および Ta の含有量をも適正化する、具体的には、Zr、Ti および Ta のそれぞれを 0.01 mass % 以下に規制する必要があることがわかった。

【0021】

(実験 5) 次に、排気系部材に用いられる鋼において、熱疲労特性と並んで重要な特性である耐酸化性に及ぼす Mn 含有量の影響について調査した。

C: 0.005～0.010 mass %、Si: 0.19～0.22 mass %、Al: 0.042～0.048 mass %、Cr: 17.9～18.1 mass %、Nb: 0

10

20

30

40

50

． 29～0.43 mass %、V：0.19～0.24 mass %、N：0.019～0.022 mass % Nを含有し、Mnの含有量を0.13～0.97 mass %の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、得られた鋼塊を熱間圧延し、冷間圧延し、仕上焼鈍して板厚2 mmの冷延焼鈍板を得た。この冷延焼鈍板から30 mm×20 mm×板厚の酸化試験用サンプルを採取し、このサンプルの表面を#320のエメリー紙で研磨した後、1000℃に保持された大気雰囲気の中で200時間の連続酸化試験を行い、酸化試験前後における質量変化（酸化増量）から、耐酸化性を評価した。なお、比較材としてSUS444についても、同様の連続酸化試験を行い、耐酸化性を評価した。

【0022】

図7は、酸化増量とMn含有量との関係を示したものである。この図7から、SUS444と同等以上の耐連続酸化性を得るには、Mnの含有量を0.5 mass %以下に制限する必要があることがわかった。

【0023】

（実験6）次に、18 mass % Cr含有鋼の高温塩害腐食性に及ぼすNおよびVの含有量の影響について調査した。この高温塩害腐食性とは、高温で生成した Cr_2O_3 、 $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{O}_3$ などの酸化物がNaなどと反応して水溶性の化合物となり、溶解・消失と酸化が繰り返されて生じる腐食のことである。

C：0.005～0.010 mass %、Si：0.10～0.30 mass %、Mn：0.10～0.30 mass %、Al：0.042～0.048 mass %、Cr：17～18.5 mass %、Nb：0.47～0.53 mass %を含有し、Vの含有量を0.19～0.22 mass %としてNの含有量を0.009～0.048 mass %の範囲で種々に変化させた鋼、および、Nの含有量を0.019～0.022 mass %としてVの含有量を0.11～0.71 mass %の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、得られた鋼塊を熱間圧延し、熱延板焼鈍し、酸洗し、冷間圧延し、仕上焼鈍して板厚2 mmの冷延焼鈍板を得た。この冷延焼鈍板から、30 mm×20 mm×板厚のサンプルを採取し、このサンプルの表面を#320のエメリー紙で研磨した後、Dip & Dry試験に供した。このDip & Dry試験は、上記サンプルを飽和食塩水（室温）に5分間浸漬し、700℃で2時間加熱保持し、冷却する工程からなる腐食試験を10サイクル行い、その後、10%クエン酸アンモニウム水溶液へ浸漬し、ナイロンブラシでブラッシングして試験片表面の腐食生成物を除去し、腐食試験前後の質量変化を測定して腐食減量を算出する試験方法である。

【0024】

図9および図10は、上記Dip & Dry試験の結果を示したものであり、これらの図から、塩害による腐食減量をSUS444よりも少なくするには、N含有量は0.03 mass %以下、V含有量は0.30 mass %以上でなければならないことがわかった。

【0025】

（実験7）次に、18 mass % Cr含有鋼の高温塩害腐食性に及ぼすAl含有量の影響について調査した。

C：0.005～0.010 mass %、Si：0.19～0.22 mass %、Mn：0.18～0.22 mass %、Cr：17.9～18.1 mass %、Nb：0.29～0.33 mass %、V：0.33～0.35 mass %、N：0.019～0.022 mass %を含有し、Alの含有量を0.06～0.36 mass %の範囲で種々に変化させた鋼を実験室で溶製し、上記実験6と同様にして、Dip & Dry試験を行い、腐食減量を測定した。

【0026】

図11は、Dip & Dry試験の結果の結果を示したものであり、この図から、塩害による腐食減量をSUS444よりも少なくするには、Al含有量は0.03 mass %でなければならないことがわかった。

本発明は、上記の知見にさらに検討を加えてなされたものである。

10

20

30

40

50

【0027】

次に、本発明のフェライト系ステンレス鋼の成分組成について説明する。

C : 0.015 mass % 以下

C は、鋼の強度を高める元素であり、所望の強度を得るためには、0.001 mass % 以上含有することが好ましい。しかし、0.015 mass % を超えて含有すると、靱性および加工性の劣化が顕著となるので、上限を0.015 mass % とする。なお、加工性をより求める場合には、C は低いほど望ましく、0.008 mass % 以下であることが好ましい。より好ましくは、0.002 ~ 0.008 mass % の範囲である。

【0028】

Si : 1.0 mass % 以下

Si は、鋼の耐酸化性を向上する元素であり、脱酸剤としても添加される元素である。しかし、過剰な添加は加工性を低下させる。よって、Si は、1.0 mass % 以下とする。

【0029】

Mn : 0.5 mass % 以下

Mn は、脱酸剤としての効果を有する元素である。しかし、過剰な添加は、高温での γ 相の生成を促進し、耐熱性（耐酸化性）を低下させる。よって、Mn は、0.5 mass % 以下とする。好ましくは、0.35 mass % 以下である。

【0030】

P : 0.040 mass % 以下

P は、鋼の靱性を低下させる元素であり、できる限り低減するのが望ましい。よって、本発明では、P は0.040 mass % 以下とする。好ましくは0.030 mass % 以下である。

【0031】

S : 0.010 mass % 以下

S は、鋼の伸びおよび r 値を低下させて成形性を劣化させるとともに、ステンレス鋼の基本特性である耐食性を低下させる元素であり、できる限り低減するのが望ましい。よって、本発明では、S を0.010 mass % 以下に制限する。

【0032】

Al : 0.03 ~ 0.30 mass %

Al は、鋼の耐酸化性および高温での耐塩害腐食性の向上に有効な元素であり、SUS 444 と同等以上の耐塩害腐食性を得るには、0.03 mass % 以上添加する必要がある。一方、耐高温塩害腐食性に対する Al の効果は0.2 mass % 程度でほぼ飽和するが、0.3 mass % を超える添加は、鋼が硬質化し、加工性の低下を招く。よって、Al は0.03 ~ 0.30 mass % の範囲とする。

【0033】

Cr : 16 ~ 20 mass %

Cr は、鋼の耐酸化性を向上させる重要な元素である。斯かる効果を得るためには、16 mass % 以上の添加が必要である。一方、Cr は、鋼に固溶し、室温において硬質化、低延性化して加工性が低下し、特に、20 mass % を超えるとその傾向が顕著となる。よって、Cr は16 ~ 20 mass % の範囲とする。なお、特に優れた延性を得るためには、Cr は18.5 mass % 以下にするのが好ましい。

【0034】

Ni : 0.5 mass % 以下

Ni は、鋼の靱性を向上させる元素であるが、高価である他、強力な γ 相形成元素であるため、高温での γ 相の生成を促進し、耐酸化性を低下させる。よって、Ni は0.5 mass % 以下とする。

【0035】

N : 0.015 ~ 0.030 mass %、V : 0.30 ~ 0.60 mass %、かつ、 $(V \times N)$: 0.003 ~ 0.015

10

20

30

40

50

VおよびNは、本発明では、鋼を高強度化し、熱疲労特性の向上を図るために重要な元素である。図3～5に示したように、SUS444と同等以上の熱疲労特性を得るには、 $N: 0.015 \sim 0.040 \text{ mass } \%$ 、 $V: 0.15 \sim 0.60 \text{ mass } \%$ およびVとNの含有量(mass%)の積($V \times N$): $0.003 \sim 0.015$ の全てを満たす必要がある。N含有量が $0.015 \text{ mass } \%$ 未満、V含有量が $0.15 \text{ mass } \%$ 未満あるいは($V \times N$)の値が 0.003 未満では、 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ の温度でVNが鋼中に微細に析出しないため、本発明が目的とする熱疲労特性の改善効果が得られない。一方、N含有量が $0.040 \text{ mass } \%$ を超え、V含有量が $0.60 \text{ mass } \%$ を超えあるいは($V \times N$)が 0.015 を超えでは、微細に析出したVNが粗大化し、却って熱疲労特性を低下させてしまうからである。

10

また、良好な熱疲労特性と同時に、SUS444より良好な耐高温塩害腐食性を得るには、図9、10に示したように、N含有量およびV含有量をそれぞれ $0.03 \text{ mass } \%$ 以下、 $0.30 \text{ mass } \%$ 以上を満たす必要がある。よって、本発明では、 $N: 0.015 \sim 0.030 \text{ mass } \%$ 、 $V: 0.30 \sim 0.60 \text{ mass } \%$ の範囲とする。

【0036】

$Nb: 10(C(\text{mass } \%) + N(\text{mass } \%)) \sim 0.60 \text{ mass } \%$

Nbは、C、Nを固定し、鋼の耐鋭敏化性、成形性、溶接部の粒界腐食性を高める作用を有するとともに、高温強度を高めて熱疲労特性を向上するのに有効な元素である。しかし、Nbの含有量がCとNの合計含有量(mass%)の10倍未満、即ち、 $10(C+N)$ 未満では、鋼の鋭敏化を抑制する効果が得られない。一方、 $0.60 \text{ mass } \%$ を超える添加は、Laves相の析出を促進して、脆化を起こし易くする。さらに、Nbの過剰添加は、本発明において重要なVNの析出が抑制され、熱疲労特性向上効果が得られなくなる。よって、Nbの含有量は、 $10(C+N) \sim 0.60 \text{ mass } \%$ の範囲とする。好ましくは、 $10(C+N) \sim 0.55 \text{ mass } \%$ の範囲である。

20

【0037】

$Ti: 0.01 \text{ mass } \%$ 以下、 $Zr: 0.01 \text{ mass } \%$ 以下および $Ta: 0.01 \text{ mass } \%$ 以下

Ti、ZrおよびTaは、Nb、Vと同様、C、Nを固定して、耐食性、成形性、溶接部の粒界腐食性を向上させる作用を有する元素である。しかし、これらの元素がそれぞれ $0.01 \text{ mass } \%$ 以上含有していると、本発明において重要役割を果たすVNの析出を抑制し、VNの析出効果を享受することができなくなり、熱疲労特性が低下してしまう。よって、本発明では、これらの元素はそれぞれ $0.01 \text{ mass } \%$ 以下とする。

30

【0038】

$Mo: 0.1 \text{ mass } \%$ 以下、 $W: 0.1 \text{ mass } \%$ 以下

MoおよびWは、高温疲労特性および耐酸化性の向上に有効な元素であるが、いずれも高価な元素であり、安価な材料開発という本発明の目的から、積極的に添加しない。したがって、これらの元素は、製鉄原料のスクラップ等から混入する程度であり、その含有量は多くても $0.1 \text{ mass } \%$ 以下である。よって、本発明では、MoおよびWの含有量はそれぞれ $0.1 \text{ mass } \%$ 以下とする。

【0039】

本発明のフェライト系ステンレス鋼は、上記必須とする成分に加えてさらに、BおよびCoを下記の範囲で含有することができる。

$B: 0.0004 \sim 0.0020 \text{ mass } \%$

Bは、加工性、とくに2次加工性を向上させるのに有効な元素である。この効果は、 $0.0004 \text{ mass } \%$ 以上の添加で発現する。しかし、 $0.0020 \text{ mass } \%$ を超える添加は、BNを生成し、加工性の低下を招く。よって、Bを添加する場合は、 $0.0004 \sim 0.0020 \text{ mass } \%$ の範囲とする。

【0040】

$Co: 0.05 \sim 0.1 \text{ mass } \%$

Coは、鋼の低温靱性向上に有効な元素であり、その効果は $0.05 \text{ mass } \%$ 以上の

40

50

添加で認められる。しかし、C oは、高価な元素であり、0.1 mass %を超えて添加しても上記効果は飽和してしまう。よって、低温靱性の向上を目的としてC oを添加する場合は、0.05～0.1 mass %の範囲とするのが好ましい。

本発明のフェライト系ステンレス鋼において、上記以外の成分は、F eおよび不可避免的不純物である。

【0041】

次に、本発明のフェライト系ステンレス鋼の製造方法について説明する。

本発明鋼の製造方法は、特に限定されるものではなく、フェライト系ステンレス鋼の製造方法として一般的なものであれば、いずれも好適に用いることができる。例えば、前述した本発明に適合する成分組成の鋼を転炉、電気炉等の溶製炉、あるいはさらに取鍋精錬、真空精錬等の二次精錬を適用して溶製し、連続鑄造法あるいは造塊一分塊圧延法で鋼片（スラブ）とし、その後、熱間圧延、熱延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍、酸洗等の各工程を経て冷延焼鈍板とするのが好ましい。上記方法において、冷間圧延は、1回または中間焼鈍を挟む2回以上でもよい。また、冷間圧延、仕上焼鈍、酸洗の各工程は、必要に応じて繰り返し行ってもよく、熱延板焼鈍は、省略してもよい。さらに、鋼板表面の光沢性が要求される場合には、スキンプス等を施してもよい。

【実施例1】

【0042】

表1-1および表1-2に示した成分組成を有する鋼を真空溶解炉で溶製して50 kg鋼塊とし、2分割し、その一方の鋼塊を1170℃に加熱後、熱間圧延して150 mm幅×35 mm厚の熱延シートバーとし、これを鍛造して30 mm×30 mmの角材とし、1040℃の焼鈍を施した。その後、その角材から、機械加工により図1に示した形状、寸法の熱疲労試験片を作製し、図2に示したように、拘束率0.8で200℃～850℃間を繰り返し昇温・降温させる熱疲労試験に供して、熱疲労寿命を測定した。なお、昇温・降温速度は5℃/sとし、850℃の保持時間は1分、200℃の保持時間は0分とした。また、熱疲労寿命の定義は、200℃において検出された荷重が、初期の80%を下回るまでのサイクル数とした。

また、参考例として、特許文献4～7に開示された成分組成を有する鋼（No. 1～4）、およびSUS444（No. 5）についても、上記と同様にして熱疲労特性を評価した。

【実施例2】

【0043】

実施例1で得たもう一方の鋼塊を1170℃に加熱後、熱間圧延して5 mm厚の熱延板とした。次いで、この熱延板を、熱延板焼鈍（焼鈍温度：1040℃）し、酸洗し、冷間圧延（冷延圧下率：60%）し、仕上げ焼鈍（焼鈍温度：1040℃、平均冷却速度：30℃/s）し、酸洗して板厚2 mmの冷延焼鈍板とした。

次いで、上記のようにして得た各冷延焼鈍板から、30 mm×20 mm×板厚のサンプルを切り出し、サンプル上部に4 mmφの穴を開けてから、その表面および端面を#320のエメリー紙で研磨し、脱脂した。その後、そのサンプルを、1000℃に加熱・保持した大気雰囲気中の炉内に吊り下げて200時間保持する大気中連続酸化試験に供した。試験後、サンプルの重量を測定し、試験前の重量との差を算出して、酸化増量を求めた。上記連続酸化試験は、各冷延焼鈍板のそれぞれについて2回実施し、その平均値で耐酸化性を評価した。

また、実施例1と同様、参考例として、従来鋼（No. 1～4）およびSUS444（No. 5）についても、上記と同様にして耐酸化性を評価した。

【実施例3】

【0044】

実施例2で得た板厚が2 mmの冷延焼鈍板から、30 mm×20 mm×板厚のサンプルを採取し、このサンプルの表面を#320のエメリー紙で研磨した後、耐高温塩害腐食性を評価するため、Dip & Dry試験に供した。このDip & Dry試験は、上

記サンプルを飽和食塩水（室温）に５分間浸漬し、 700°C で２時間加熱保持し、冷却する工程からなる腐食試験を１０サイクル行い、その後、１０％クエン酸アンモニウム水溶液へ浸漬し、ナイロンブラシでブラッシングして試験片表面の腐食生成物を除去し、腐食試験前後の質量変化を測定して腐食減量を算出する試験方法である。

また、実施例１と同様、参考例として、従来鋼（No. １～４）およびＳＵＳ４４４（No. ５）についても、上記と同様にして耐高温塩害腐食性を評価した。

【００４５】

上記実施例１～３の結果を、表１～２に併記して示した。この結果から、本発明の成分組成に適合する発明例の鋼（No. ３２～４７）は、いずれも、ＳＵＳ４４４と同等以上の耐熱疲労特性（熱疲労寿命：５２０サイクル以上）と耐酸化性（酸化増量： 33 g/m^2 以下）および耐高温塩害腐食性（腐食減量： 0.4 kg/m^2 未満）を兼備していることがわかる。一方、本発明の成分組成を満たさない比較例の鋼（No. ６～３１）および参考例の従来鋼（No. １～４）は、耐熱疲労特性、耐酸化性、耐高温塩害腐食性のいずれか１以上の特性がＳＵＳ４４４（No. ５）より劣っており、本発明の目標が達成されていない。

【００４６】

【表 1 - 1】

No.	化 学 成 分 (mass%)										備 考
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Nb	Nb/(C+N)	
1	0.010	0.49	0.41	—	—	—	13.56	0.10	0.28	3.7	参考例1
2	0.009	0.35	0.72	0.030	0.003	—	19.1	—	0.31	5.1	参考例2
3	0.020	0.54	0.15	0.029	0.005	0.007	22.0	—	0.30	6.8	参考例3
4	0.021	0.94	0.25	—	0.002	0.140	15.2	—	0.35	9.7	参考例4
5	0.008	0.31	0.42	0.031	0.003	0.019	18.7	—	0.52	—	参考例5
6	0.009	0.26	0.30	0.031	0.003	0.042	17.3	0.17	0.38	21.1	比較例
7	0.010	0.28	0.11	0.028	0.003	0.048	17.4	0.15	0.41	16.4	比較例
8	0.007	0.18	0.18	0.020	0.005	0.045	17.8	0.21	0.39	14.4	比較例
9	0.008	0.20	0.29	0.033	0.006	0.043	18.4	0.14	0.43	11.3	比較例
	0.007	0.19	0.20	0.030	0.004	0.044	18.2	0.12	0.40	8.9	比較例
10	0.010	0.21	0.22	0.010	0.006	0.046	18.0	0.19	0.41	7.1	比較例
11	0.005	0.24	0.28	0.032	0.002	0.042	18.3	0.11	0.31	11.5	比較例
12	0.007	0.11	0.13	0.023	0.005	0.047	17.7	0.26	0.30	10.7	比較例
13	0.006	0.22	0.21	0.019	0.005	0.048	18.5	0.27	0.29	10.7	比較例
14	0.008	0.22	0.19	0.025	0.006	0.046	18.4	0.18	0.31	19.4	比較例
15	0.007	0.15	0.18	0.021	0.004	0.043	17.9	0.20	0.35	15.2	比較例
16	0.007	0.20	0.22	0.018	0.005	0.047	18.1	0.23	0.39	8.5	比較例
17	0.009	0.19	0.29	0.015	0.009	0.044	17.2	0.19	0.32	8.2	比較例
18	0.008	0.20	0.48	0.016	0.006	0.044	18.1	0.17	0.35	12.5	比較例
19	0.007	0.21	0.61	0.027	0.004	0.048	17.9	0.20	0.33	11.4	比較例
20	0.009	0.20	0.97	0.020	0.007	0.046	18.0	0.18	0.38	13.6	比較例
21	0.007	0.19	0.29	0.022	0.005	0.046	18.1	0.21	0.34	12.1	比較例
22	0.007	0.26	0.18	0.016	0.003	0.043	18.0	0.18	0.48	11.4	比較例
23	0.008	0.12	0.20	0.011	0.002	0.045	18.1	0.30	0.50	10.6	比較例
24	0.010	0.30	0.22	0.030	0.003	0.045	17.9	0.28	0.66	21.3	比較例
25	0.006	0.24	0.15	0.010	0.002	0.047	18.2	0.09	0.29	10.4	比較例
26	0.007	0.12	0.18	0.015	0.003	0.048	17.0	0.30	0.36	10.0	比較例
27	0.007	0.12	0.15	0.026	0.007	0.043	18.4	0.30	0.43	14.8	比較例
28	0.007	0.21	0.15	0.019	0.007	0.045	18.0	0.15	0.49	30.6	比較例
29	0.007	0.22	0.20	0.018	0.008	0.042	18.0	0.23	0.48	10.7	比較例
30	0.005	0.20	0.17	0.024	0.007	0.043	18.0	0.20	0.53	10.0	比較例
31	0.008	0.27	0.09	0.019	0.002	0.045	18.0	0.11	0.35	10.9	比較例
32	0.008	0.28	0.27	0.012	0.007	0.045	17.5	0.25	0.31	11.1	発明例
33	0.009	0.18	0.24	0.027	0.004	0.043	18.0	0.15	0.28	10.0	発明例
34	0.010	0.25	0.19	0.020	0.003	0.042	18.2	0.09	0.32	10.0	発明例
35	0.007	0.24	0.15	0.034	0.008	0.045	18.3	0.19	0.38	11.2	発明例
36	0.006	0.19	0.22	0.028	0.001	0.047	17.8	0.15	0.44	16.9	発明例
37	0.010	0.14	0.19	0.029	0.007	0.097	17.6	0.24	0.41	11.7	発明例
38	0.009	0.09	0.26	0.036	0.009	0.042	17.9	0.11	0.49	17.5	発明例
39	0.007	0.22	0.21	0.018	0.004	0.044	17.4	0.16	0.45	15.0	発明例
40	0.006	0.25	0.22	0.034	0.004	0.046	18.2	0.17	0.30	11.1	発明例
41	0.008	0.25	0.20	0.016	0.006	0.042	17.0	0.26	0.28	11.2	発明例
42	0.009	0.20	0.30	0.011	0.002	0.28	17.5	0.24	0.44	12.9	発明例
43	0.008	0.11	0.11	0.029	0.006	0.21	18.0	0.16	0.38	13.6	発明例
44	0.010	0.09	0.18	0.023	0.004	0.11	17.9	0.29	0.30	12.0	発明例
45	0.008	0.18	0.24	0.016	0.008	0.15	17.6	0.11	0.42	11.4	発明例
46	0.008	0.15	0.23	0.021	0.005	0.044	17.9	0.19	0.50	21.7	発明例
47	0.006	0.24	0.27	0.015	0.006	0.048	18.1	0.22	0.47	13.1	発明例

参考例 1：特開平 9-316774 号公報(特許文献 4)、

参考例 2：特開平 7-70709(特許文献 5)

参考例 3：特開平 6-158162 号公報(特許文献 6)、

参考例 4：特開 2000-144344 号公報(特許文献 7)

【表 1 - 2】

No.	化 学 成 分 (mass %) (続き)				鋼 特 性			備 考
	V	N	V×N	Zr, Ti, Ta, B, Co, Mo, W	熱疲労寿命 (サイクル数)	酸化増量 (g/m ²)	腐食減少量 (kg/m ²)	
1	0.39	0.065	0.02535	—	380	112	0.93	参考例
2	0.63	0.052	0.03276	—	410	71	0.29	参考例
3	0.22	0.024	0.00528	Zr:0.074	460	21	0.41	参考例
4	0.225	0.015	0.00338	Ti:0.09	380	99	0.77	参考例
5	—	0.008	—	Ti:0.003、Mo:1.87、W:0.02	520	33	0.40	参考例
6	0.21	0.009	0.00189	—	410	21	0.64	比較例
7	0.22	0.015	0.00330	B:0.0015	540	27	0.49	比較例
8	0.19	0.020	0.00380	—	570	23	0.66	比較例
9	0.20	0.030	0.00600	—	650	25	0.51	比較例
	0.19	0.038	0.00722	—	660	24	0.92	比較例
10	0.21	0.048	0.01008	—	380	22	0.51	比較例
11	0.11	0.022	0.00242	—	440	28	0.49	比較例
12	0.24	0.021	0.00504	—	580	22	0.44	比較例
13	0.71	0.021	0.01491	—	470	24	0.31	比較例
14	0.04	0.008	0.00032	—	310	28	0.84	比較例
15	0.15	0.016	0.00240	—	430	14	0.79	比較例
16	0.39	0.039	0.01521	—	460	21	0.24	比較例
17	0.57	0.030	0.01710	—	390	21	0.38	比較例
18	0.22	0.020	0.00440	—	560	32	0.50	比較例
19	0.20	0.022	0.00440	—	560	83	0.51	比較例
20	0.21	0.019	0.00399	—	570	111	0.54	比較例
21	0.19	0.021	0.00399	—	560	25	0.47	比較例
22	0.42	0.035	0.01470	Co:0.08	560	20	0.44	比較例
23	0.26	0.039	0.01014	—	590	27	0.50	比較例
24	0.24	0.021	0.00504	—	480	28	0.44	比較例
25	0.27	0.022	0.00594	B:0.0008	610	27	0.42	比較例
26	0.18	0.029	0.00522	—	590	31	0.76	比較例
27	0.17	0.022	0.00374	—	560	32	0.74	比較例
28	0.34	0.009	0.00306	—	410	19	0.32	比較例
29	0.34	0.038	0.01292	—	660	23	0.48	比較例
30	0.35	0.048	0.01680	—	380	20	0.57	比較例
31	0.27	0.024	0.00648	Co:0.08	640	27	0.43	比較例
32	0.34	0.020	0.00680	—	590	21	0.33	発明例
33	0.49	0.019	0.00931	—	590	18	0.32	発明例
34	0.58	0.022	0.01276	—	570	14	0.31	発明例
35	0.36	0.027	0.00972	B:0.0015	640	25	0.35	発明例
36	0.51	0.020	0.01020	—	620	18	0.32	発明例
37	0.35	0.025	0.00875	B:0.0010、Co:0.05	660	14	0.21	発明例
38	0.30	0.019	0.00570	B:0.0015、Co:0.05	620	25	0.21	発明例
39	0.34	0.023	0.00782	—	600	24	0.22	発明例
40	0.34	0.021	0.00714	B:0.0011	600	24	0.23	発明例
41	0.32	0.017	0.00544	Co:0.05	580	25	0.22	発明例
42	0.45	0.025	0.01125	—	650	19	0.21	発明例
43	0.52	0.020	0.01040	—	610	17	0.20	発明例
44	0.55	0.015	0.00825	—	540	17	0.22	発明例
45	0.32	0.029	0.00928	Co:0.08	660	23	0.27	発明例
46	0.35	0.015	0.00525	—	540	26	0.32	発明例
47	0.33	0.030	0.00990	—	650	24	0.38	発明例

参考例 1：特開平 9-316774 号公報(特許文献 4)、

参考例 2：特開平 7-70709(特許文献 5)

参考例 3：特開平 6-158162 号公報(特許文献 6)、

参考例 4：特開 2000-144344 号公報(特許文献 7)

【産業上の利用可能性】

【0048】

本発明のフェライト系ステンレス鋼は、自動車の排気部材用に限定されるものではなく、本発明の鋼と同様の特性が要求される火力発電システムの排気経路部材や固体酸化物タ

10

20

30

40

50

タイプの燃料電池用部材としても好適に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明において用いた熱疲労試験片を説明する図である。

【図2】本発明において行った熱疲労試験を説明する図である。

【図3】18Cr鋼の熱疲労寿命に及ぼすN含有量の影響を示すグラフである。

【図4】18Cr鋼の熱疲労寿命に及ぼすV含有量の影響を示すグラフである。

【図5】18Cr鋼の熱疲労寿命に及ぼす(V×N)の影響を示すグラフである。

【図6】18Cr鋼の熱疲労寿命に及ぼすZr, TiおよびTa含有量の影響を示すグラフである。

10

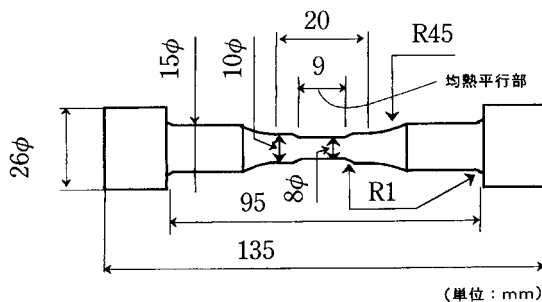
【図7】18Cr鋼の耐酸化性に及ぼすMn含有量の影響を示すグラフである。

【図8】18Cr鋼の高温塩害試験腐食減量に及ぼすN含有量の影響を示すグラフである。

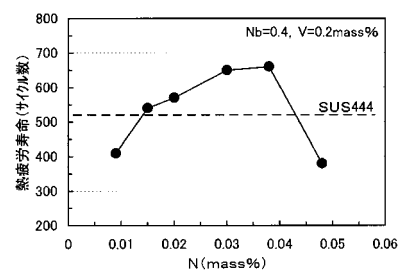
【図9】18Cr鋼の高温塩害試験腐食減量に及ぼすV含有量の影響を示すグラフである。

【図10】18Cr鋼の高温塩害試験腐食減量に及ぼすAl含有量の影響を示すグラフである。

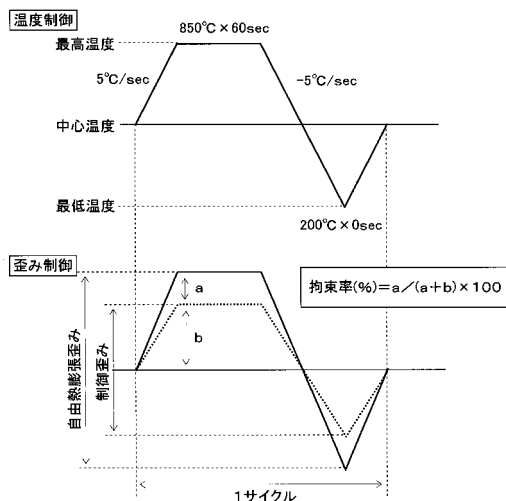
【図1】



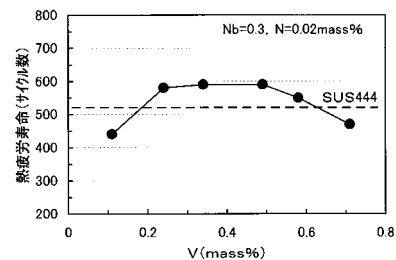
【図3】



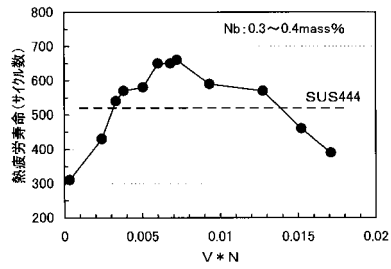
【図2】



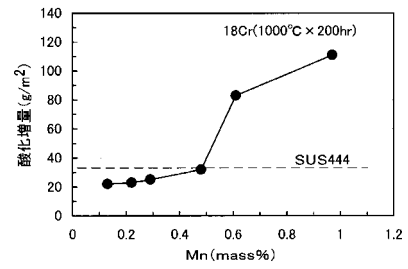
【図4】



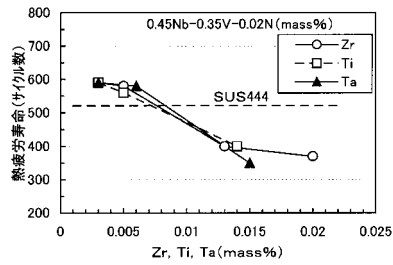
【図 5】



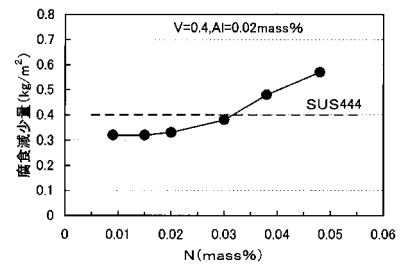
【図 7】



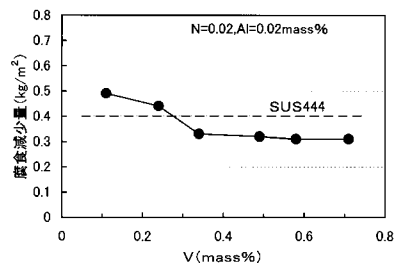
【図 6】



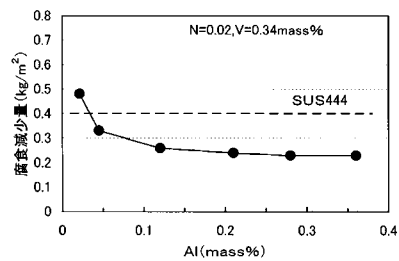
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 石川 伸
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 J F Eスチール株式会社内
- (72)発明者 宇城 工
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 J F Eスチール株式会社内