

(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2012-107313

(P2012-107313A)

(43) 公開日 平成24年6月7日(2012.6.7)

(51) Int.Cl.	F I	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 38/48 (2006.01)	C 2 2 C 38/48	
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 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-171177 (P2011-171177)	(71) 出願人	000001258 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
(22) 出願日	平成23年8月4日 (2011.8.4)	(74) 代理人	100099944 弁理士 高山 宏志
(31) 優先権主張番号	特願2010-239503 (P2010-239503)	(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
(32) 優先日	平成22年10月26日 (2010.10.26)	(72) 発明者	太田 裕樹 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
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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

(54) 【発明の名称】 熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼

(57) 【要約】

【課題】 Mo、W、Cu を用いずに、熱疲労特性および耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼を提供すること。

【解決手段】 mass % で、C : 0 . 0 1 5 % 以下、Si : 1 . 0 % 以下、Mn : 0 . 5 % 以下、Al : 0 . 3 0 % 以下、P : 0 . 0 4 0 % 以下、S : 0 . 0 1 0 % 以下、Cr : 2 0 % 超 2 3 % 以下、Ni : 0 . 5 % 以下、N : 0 . 0 1 5 ~ 0 . 0 4 0 %、Nb : 1 0 (C + N) ~ 0 . 6 0 %、V : 0 . 1 5 ~ 0 . 6 0 %、Ti : 0 . 0 1 % 以下、Zr : 0 . 0 1 % 以下、Ta : 0 . 0 1 % 以下、Mo : 0 . 1 % 以下、W : 0 . 1 % 以下を含有し、かつ 0 . 0 0 3 V x N 0 . 0 1 5 を満たし、残部が Fe および不可避免的不純物からなる熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

mass%で、C：0.015%以下、Si：1.0%以下、Mn：0.5%以下、Al：0.30%以下、P：0.040%以下、S：0.010%以下、Cr：20%超23%以下、Ni：0.5%以下、N：0.015～0.040%、Nb：10(C+N)～0.60%、V：0.15～0.60%、Ti：0.01%以下、Zr：0.01%以下、Ta：0.01%以下、Mo：0.1%以下、W：0.1%以下を含有し、かつ0.003 V×N 0.015を満たし、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼。

【請求項 2】

上記の成分組成に加えてさらに、mass%で、B：0.0004～0.0020%、Co：0.05～0.1%の1種または2種を含有することを特徴とする熱疲労特性と耐酸化性に優れた請求項1に記載の熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼。

【請求項 3】

Siを0.4～1.0%の範囲で含有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の熱疲労特性と耐酸化性と耐水蒸気酸化性に優れた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、触媒外筒材や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用として好適な、優れた熱疲労特性と耐酸化性を兼ね備えたフェライト系ステンレス鋼に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車の排気系環境で使用される、例えば、エキゾーストマニホールド、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部材には、耐熱疲労特性や耐酸化性のような耐熱性に優れることが要求されている。このような用途には、現状では、NbとSiを添加したCr含有鋼、例えば、Type 429(14Cr-0.9Si-0.4Nb系)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900を超えるような温度まで上昇すると、Type 429鋼は、熱疲労特性が不足するという問題がある。

【0003】

この問題に対しては、NbとMoを添加して高温耐力を向上させたCr含有鋼、JIS G4305に規定されるSUS444(19Cr-0.5Nb-2Mo)、Nb, Mo, Wを添加したフェライト系ステンレス鋼(例えば、特許文献1参照)等が開発されている。しかしながら、昨今におけるMo, W原料の異常なまでの高騰から、安価でSUS444と同等の耐熱性を有する材料の開発が要求されるようになってきた。

【0004】

このような状況下で、高価な元素であるMoやWを用いない耐熱性に優れた材料が、例えば、特許文献2～4に開示されている。これらに開示された鋼はいずれも、Cuを添加することによって、熱疲労特性を向上させているのが特徴である。

【0005】

しかしながら、発明者らの研究によれば、上記特許文献2～4に開示された技術のようにCuを添加した場合には、鋼自身の耐酸化性を低下させる他、加工性も低下させるという新たな問題があることが明らかとなった。

【0006】

MoやWも、Cuも用いずに耐熱性を高めた鋼としては、特許文献5～11に開示されたものがある。これら特許文献ではVNの析出強化を利用して高耐熱化を図っている。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2004-018921号公報

【特許文献2】国際公開2003/004714号パンフレット

【特許文献3】特開2006-117985号公報

【特許文献4】特開2000-297355号公報

【特許文献5】特許第4369596号公報

【特許文献6】特開平7-70709号公報

【特許文献7】特開2010-156008号公報

【特許文献8】特開2000-248337号公報

10

【特許文献9】特開2010-43327号公報

【特許文献10】特開2002-30346号公報

【特許文献11】特開平6-184637号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、上記特許文献5、7、8の技術では、Nb、V、Nの全てが適量添加されていないため熱疲労特性が未だ十分とはいえない上、鋭敏化が発生し、耐食性や耐酸化性が著しく低下する問題も有している。また、特許文献6ではV、Nが適量添加されていてもMnが適量でないため耐酸化性のみならず熱疲労特性も十分ではない。

20

さらに、特許文献10、11についてはV、Nが適量添加されていないため優れた熱疲労特性は得られない。

【0009】

また近年、自動車排ガス規制に対応するため高温でエンジンが使用され、それとともに排ガス温度が高くなることが想定される。また、排ガスが高温になることによって、触媒の作用温度が上昇し、浄化作用を大きくすることも可能になる。このように排ガス温度がさらに上昇した場合、上記特許文献5～9の技術では耐酸化性が十分ではない。

【0010】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、Mo、W、Cuを用いずに、熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼を提供することを目的とする。

30

【0011】

なお、本発明でいう「熱疲労特性と耐酸化性に優れた」とは、SUS444と同等の熱疲労特性およびSUS444を上回る1050耐酸化性を有することをいう。具体的には、200/850の熱疲労特性がSUS444と同等以上であり、大気中1050で異常酸化を発生しないこととする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討を重ねた。その結果、VNの析出強化を有効に活用して熱疲労特性を向上させるためには、Nb、V、N含有量を最適なものにする必要があること、また高温において優れた耐酸化性を得るためにはMn量を最適化した上で、Cr量を適正化することが有効であることを見出した。

40

【0013】

具体的には、mass%で、Siを1.0%以下、Mnを0.5%以下、Nbを $10 \times (C + N) \sim 0.6\%$ をベースとして、Nを0.015～0.040%の範囲で、同時にVを0.15～0.6%の範囲で、かつ $V \times N$ が0.003～0.015となるように含有させることにより長時間に亘って高温における強度を維持することができ、Mo、W、Cuを含有させなくてもSUS444と同等の耐熱疲労特性が得られることを見出した。また、Mnを0.5mass%以下とすることで1000における耐酸化性についてもSUS444と同等以上となり、さらにCrを20mass%超23mass%以下とすることでSUS444を上回る1050耐酸化性が得られることを見出した。

50

【0014】

本発明は、本発明者らの以上のような知見に基づいて完成されたものである。

【0015】

すなわち、本発明は、mass%で、C：0.015%以下、Si：1.0%以下、Mn：0.5%以下、Al：0.30%以下、P：0.040%以下、S：0.010%以下、Cr：20%超23%以下、Ni：0.5%以下、N：0.015～0.040%、Nb：10(C+N)～0.60%、V：0.15～0.60%、Ti：0.01%以下、Zr：0.01%以下、Ta：0.01%以下、Mo：0.1%以下、W：0.1%以下を含有し、かつ0.003 VxN 0.015を満たし、残部がFeおよび不可避の不純物からなることを特徴とする熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼を提供する。

10

【0016】

また、本発明は、上記の成分組成に加えてさらに、mass%で、B：0.0004～0.0020%、Co：0.05～0.1%の1種または2種を含有することを特徴とする熱疲労特性と耐酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼を提供する。

【0017】

さらに本発明は、Siを0.4～1.0%の範囲で含有することを特徴とする熱疲労特性と耐酸化性と耐水蒸気酸化性に優れたフェライト系ステンレス鋼を提供する。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、高価なMoやW、およびCuを含有させることなくSUS444と同等以上の熱疲労特性およびSUS444を上回る1050耐酸化性を達成することができ、自動車排気部材用等として好適なフェライト系ステンレス鋼を得ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】熱疲労特性に及ぼすN含有量の影響を示すグラフである。

【図2】熱疲労特性に及ぼすV含有量の影響を示すグラフである。

【図3】熱疲労特性に及ぼすVxNの影響を示すグラフである。

【図4】熱疲労特性に及ぼすZr、Ti、Ta含有量の影響を示すグラフである。

【図5】耐酸化性（酸化増量）に及ぼすMn含有量の影響を示すグラフである。

30

【図6】1050耐酸化性（酸化増量）に及ぼすCr含有量の影響を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

まず、本発明を完成するに至った基礎的な実験について、説明する。なお、以下の説明において、成分における%表示は全てmass%である。

最初に、熱疲労特性に及ぼすN含有量の影響を検討した。

0.005～0.010% C - 0.45～0.55% Si - 0.15～0.25% Mn - 0.040～0.050% Al - 20.5～21.5% Cr - 0.40～0.50% Nb - 0.30～0.40% Vの成分系をベースとして、N含有量を0.007～0.048%の範囲で種々変化させた鋼を、実験室的に溶製して鋼塊とし、この鋼塊を鍛造し、熱処理して鋼材とし、この鋼材から熱疲労試験片を作製した。そして、拘束率0.8で200/850の加熱・冷却を繰り返し、熱疲労寿命を評価した。熱疲労寿命は、200において検出された荷重が初期の荷重の80%を下回ったサイクル数とした。なお、比較として、SUS444（18% Cr - 2% Mo - 0.5% Nb鋼）についても同様に評価した。

40

【0021】

図1は上記熱疲労試験における熱疲労寿命に及ぼすN含有量の影響を示したものである。この図から、N含有量が0.015～0.040%の範囲でSUS444の熱疲労寿命より優れた熱疲労寿命が得られることがわかる。したがって、優れた熱疲労特性を得るた

50

めには、N含有量が0.015～0.040%であることが必要である。

【0022】

次に、熱疲労特性に及ぼすV含有量の影響を検討した。

0.005～0.010% C - 0.45～0.55% Si - 0.15～0.25% Mn - 0.040～0.050% Al - 20.5～21.5% Cr - 0.40～0.50% Nb - 0.015～0.025% Nの成分系をベースとして、V含有量を0.08～0.73%の範囲で種々変化させた鋼を、実験室的に溶製して鋼塊とし、この鋼塊を鍛造し、熱処理して鋼材とし、この鋼材から熱疲労試験片を作製した。同様に、拘束率0.8で200/850の加熱・冷却を繰り返し、熱疲労寿命を評価した。

【0023】

図2は上記熱疲労試験における熱疲労寿命に及ぼすV含有量の影響を示したものである。この図から、V含有量が0.15～0.60%の範囲でSUS444の熱疲労寿命より優れた熱疲労寿命が得られることがわかる。したがって、優れた熱疲労特性を得るためには、V含有量が0.15～0.60%であることが必要である。

【0024】

次に、V×Nの最適値を検討した。

図1、2に示した実験結果に加え、同様な組成をベースとしてV、N量を変化させ、同様にして鋼塊を作製した後、鍛造し、熱処理して鋼材とし、この鋼材から熱疲労試験片を作製し、同様に、拘束率0.8で200/850の加熱・冷却を繰り返し、熱疲労寿命を評価した。

【0025】

図3は上記熱疲労試験における熱疲労寿命に及ぼすV×Nの値の影響を示したものである。この図に示すように、V、Nがそれぞれ上記範囲内であっても、V×Nの値が0.003未満または0.015超であると熱疲労寿命がSUS444よりも低くなることがわかった。したがって、優れた熱疲労特性を得るためには、V、Nの含有量が上記範囲を満たすとともに、V×Nの値が0.003～0.015の範囲であることが必要である。

【0026】

次に、熱疲労特性に及ぼすZr、Ti、Ta含有量の影響を検討した。

0.005～0.010% C - 0.45～0.55% Si - 0.15～0.25% Mn - 0.040～0.050% Al - 20.5～21.5% Cr - 0.40～0.50% Nb - 0.30～0.40% V - 0.015～0.025% Nの成分系をベースとして、Zr、Ti、Taの含有量を、それぞれ0.003～0.018%、0.005～0.018%、0.004～0.015%の範囲で変化させた鋼を、実験室的に溶製して鋼塊とし、この鋼塊を鍛造し、熱処理して鋼材とし、この鋼材から熱疲労試験片を作製した。同様に、拘束率0.8で200/850の加熱・冷却を繰り返し、熱疲労寿命を評価した。

【0027】

図4は上記熱疲労試験における熱疲労寿命に及ぼすZr、Ti、Ta含有量の影響を示したものである。この図に示すように、V、N、V×Nが上記範囲内であっても、Zr、Ti、Taのいずれかの含有量が0.01%を超えると熱疲労寿命がSUS444よりも低くなることがわかった。したがって、優れた熱疲労特性を得るためには、Zr、Ti、Taの含有量がいずれも0.01%以下であることが必要である。

【0028】

次に、耐酸化性に及ぼすMn含有量の影響について検討した。

0.005～0.010% C - 0.45～0.55% Si - 0.040～0.050% Al - 20.5～21.5% Cr - 0.40～0.50% Nb - 0.30～0.40% V - 0.015～0.025% Nの成分系をベースとして、Mn量を0.08～0.84%の範囲で変化させた組成の鋼板から試験片を作製し、この試験片の表面を#320のエメリー紙で研磨後、大気中1000で200時間の連続酸化試験を行った。耐酸化性は、酸化増量により評価した。なお、比較として、SUS444(18%Cr - 2%Mo - 0.5%Nb鋼)についても同様に評価した。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

図5は上記1000連続酸化試験における酸化増量に及ぼすMn含有量の影響を示したものである。この図から、Mn含有量が0.5%以下でSUS444と同等以上の耐連続酸化特性が得られることがわかる。したがって、耐酸化性の観点から、Mn含有量は0.5%以下とすることが必要である。

【 0 0 3 0 】

次に、さらに高温の1050耐酸化性に及ぼすCr含有量の影響について検討した。

0.005~0.010% C - 0.45~0.55% Si - 0.15~0.25% Mn - 0.040~0.050% Al - 0.40~0.50% Nb - 0.30~0.40% V - 0.015~0.025% Nの成分系をベースとして、Cr含有量を17.2~22.9%の範囲で変化させた組成の鋼板から作製した試験片を用いて、上述した連続酸化試験と同様の手法で1050 200時間連続酸化試験を行った。

10

【 0 0 3 1 】

図6は1050連続酸化試験における酸化増量に及ぼすCr含有量の影響を示したものである。この図から、Cr含有量が20%を超えていれば、異常酸化(=酸化増量 100g/m²)が発生せず、SUS444を上回る耐酸化性が得られることがわかる。

【 0 0 3 2 】

本発明は、以上のような基礎実験の結果に基づき、さらに検討を加えた結果完成されたものである。

【 0 0 3 3 】

以下、本発明に係るフェライト系ステンレス鋼について詳細に説明する。

まず、本発明の成分組成について説明する。

20

【 0 0 3 4 】

C : 0.015%以下

Cは、鋼の強度を増加させる元素であるが、0.015%を超えて含有すると、靱性および成形性の低下が顕著となる。よって、本発明では、C含有量を0.015%以下とする。なお、成形性の観点からは、C含有量は低いほど好ましく、0.010%以下とするのが望ましい。

【 0 0 3 5 】

Si : 1.0%以下

Siは、耐酸化性を向上させる元素であり、脱酸材としても用いられる。一方、1.0%を超えて含有させると加工性が低下する。このため、Si含有量を1.0%以下とする。

30

一方、自動車排気系部材は実際には水蒸気を含んだガス中で使用されるため、耐水蒸気酸化特性も重要となる。Siは耐水蒸気酸化特性向上に有効な元素であり、0.4%以上添加することでその効果が得られる。Siによって耐水蒸気酸化性が改善される理由は十分に解明されているわけではないが、Si含有量を0.4%以上とすることにより、鋼板表面に緻密なSi酸化物層が連続的に生成し、外部からのガス成分の侵入が抑制されるためと考えられる。したがって、耐水蒸気酸化特性が必要とされる場合にはSi含有量を0.4~1.0%とすることが好ましい。より厳しい水蒸気含有雰囲気下での耐酸化性が求められる場合には、Si含有量を0.5%以上とすることが好ましい。

40

【 0 0 3 6 】

Mn : 0.5%以下

Mnは、脱酸剤として作用するが、過剰に含有すると高温で相が生成しやすくなり、耐熱性を低下させるだけでなく、耐酸化性も低下させる。このため、Mn含有量を0.5%以下とする。好ましくは、0.35%以下であり、さらに好ましくは0.3%以下である。

【 0 0 3 7 】

P : 0.040%以下

Pは、靱性を低下させる元素であり、できるだけ低減するのが望ましい。このため、P

50

含有量を 0.040% 以下とする。好ましくは、0.030% 以下である。

【0038】

S : 0.010% 以下

S は、伸びおよび r 値を低下させ、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もあり、できるだけ低減するのが望ましい。このため、S 含有量を 0.010% 以下とする。

【0039】

Cr : 20% 超 23% 以下

Cr は、耐酸化性を向上させる元素である。図 6 に示すように、Cr を 20% を超えて含有させると、1050 においても異常酸化が発生しない。一方、Cr は、室温において固溶強化により鋼を硬質化・低延性化し、23% を超えて含有すると、加工性が劣化する。このため、Cr 含有量を 20% 超 23% 以下の範囲とする。

10

【0040】

N : 0.015 ~ 0.040%、V : 0.15 ~ 0.60%、かつ V × N : 0.003 ~ 0.015

V、N は本発明で重要な元素である。V、N を含有することにより 600 ~ 800 でこれらが VN として微細に析出し、鋼材を高強度化することで熱疲労特性を向上させる。その効果は N 含有量が 0.015% 以上および V 含有量が 0.15% 以上で認められる。しかし過剰に含有することにより鋼の靱性および成形性を劣化させるだけでなく、VN が粗大化し熱疲労寿命を低下させてしまう。このため、N の含有量を 0.015 ~ 0.040% の範囲、V の含有量を V : 0.15 ~ 0.60% の範囲とする。また、V、N がそれぞれ上記の範囲内であっても V × N が 0.003 ~ 0.015 を満たさなければ所望の熱疲労寿命が得られない。このため、V × N を 0.003 ~ 0.015 とした。

20

【0041】

Nb : 10(C + N) ~ 0.60%

Nb は、C、N を固定し、耐鋭敏化特性、成形性、溶接部の耐粒界腐食性を高める作用を有するとともに、高温強度を上昇させて熱疲労特性を向上させる有益な元素である。しかし、その含有量が 10(C + N) よりも少ないと C、N の固定が不十分となり、鋼材の鋭敏化が認められるようになる。鋭敏化が発生すると溶接部における耐食性、耐酸化性が著しく低下するため、Nb を 10(C + N) 以上添加することが必要となる。Nb 量によっては母材部でも同様の現象が発生することがある。一方、その含有量が 0.60% を超えると、Laves 相が析出しやすくなり、脆化するのみならず、本発明で重要な VN の析出が抑制され、熱疲労特性が低下してしまう。このため、Nb 含有量を 10(C + N) ~ 0.60% の範囲とする。好ましくは、0.55% 以下であり、さらに好ましくは 0.50% 以下である。

30

【0042】

Mo : 0.1% 以下

Mo は、高価な元素であり、本発明の目的からも積極的に添加しない。溶解原料であるスクラップ等からの混入量は高々 0.1% であるため、Mo 含有量を 0.1% 以下とする。

40

【0043】

W : 0.1% 以下

W は、Mo と同様に高価な元素であり、本発明の目的からも積極的に添加しない。溶解原料であるスクラップ等からの混入量は高々 0.1% であるため、W 含有量を 0.1% 以下とする。

【0044】

Ti、Zr、Ta : 0.01% 以下

Ti、Zr、Ta は、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が、本発明で重要な VN の析出を抑制し、たとえ本発明で規定する V、N 量を満たしていても、これらが 0.01% を超えて含有されると熱疲労特性を低下さ

50

せてしまう。このため、Ti、Zr、Taの含有量をいずれも0.01%以下とする。

【0045】

Al：0.30%以下

Alは、耐酸化性および耐高温塩害腐食性の向上に有効な元素である。しかし、その含有量が0.30%を超えると鋼が硬質化し、加工性の低下が顕著となる。このため、Al含有量を0.30%以下とする。より好ましくは0.03~0.20%である。

【0046】

Ni：0.5%以下

Niは、韌性を向上させる元素であるが、高価であるばかりか、強力な相形成元素であり高温で相が生成し耐酸化性を低下させる。このため、Ni含有量を0.5%以下とする。

10

【0047】

本発明のフェライト系ステンレス鋼は、上記成分に加えてさらに、下記の成分を含有させてもよい。

【0048】

B：0.0004~0.0020%、Co：0.05~0.1%の1種または2種

Bは、加工性、特に二次加工性を向上させる有効な元素である。このような効果は0.0004%以上で有効に発揮されるが、0.0020%を超えて含有すると、BNを生成し、加工性が低下する。このため、Bを含有させる場合には、その含有量を0.0004~0.0020%の範囲とする。

20

Coは、韌性の向上に有効な元素である。このような効果は0.05%以上で発揮されるが、Coは高価な元素であり、また、その含有量が0.1%を超えても上記効果は飽和する。このため、Coを含有させる場合は、その含有量を0.05~0.1%とする。

【0049】

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。

本発明のフェライト系ステンレス鋼は、一般的なフェライト系ステンレス鋼の製造方法により製造することができ、その製造条件は特に限定されるものではない。例えば、本発明範囲内の組成の溶鋼を、転炉、電気炉等の溶製炉を利用し、あるいはさらに取鍋精錬、真空精錬等の精錬を利用した溶製方法で溶製し、連続鑄造法、造塊法で鋼片としたのち、熱間圧延、熱延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上げ焼鈍、酸洗の各工程を順次経て冷延焼鈍板とするのが好ましい。また、冷間圧延は、1回または中間焼鈍を含む2回以上の冷間圧延としてもよい。冷間圧延、仕上げ焼鈍、酸洗の工程は繰り返し行ってもよい。なお、場合によっては、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加工性の良好な鋼板として製造できる。

30

【実施例】

【0050】

表1に示すNo.1~40の成分組成を有する鋼を用いて、以下に示す試験を行った。No.1~40の成分組成のうち、No.1~17は本発明の範囲内の本発明例、No.18~40は本発明の範囲から外れる比較例である。なお、比較例のうち、No.31、32、33、34、35は、それぞれ特許第4369596号公報(特許文献5)、特開平7-70709号公報(特許文献6)、特開平6-158162号公報、特開2000-144344号公報、特開2010-43324号公報で実施例として開示された成分組成に相当するものであり、No.36はSUS444に相当するものである。また、No.37、38、39、40は、それぞれ特開2010-156008号公報(特許文献7)、特開2010-43327号公報(特許文献9)、特開2002-30346号公報(特許文献10)、特開平6-184637号公報(特許文献11)で実施例として開示された成分組成に相当するものである。

40

【0051】

上記No.1~40の成分組成を有する鋼の50kg鋼塊を作製し、これら鋼塊を1170に加熱後、熱間圧延により5mm厚の熱延板とした。次いで、これら熱延板に対し

50

、熱延板焼鈍（焼鈍温度：1040） - 酸洗 - 冷間圧延（冷延圧下率：60%） - 仕上げ焼鈍（焼鈍温度：1040、平均冷却速度：30 / s） - 酸洗を順次施し、2 mm 厚の冷延焼鈍板とした。

【0052】

これら冷延焼鈍板から試験片を作製し、酸化試験に供した。酸化試験は、試験片の表面を#320のエメリー紙で研磨後、大気中1000 および1050 で200時間の連続酸化を行い、耐酸化性はその際の酸化増量により評価した。

【0053】

また、上記冷延焼鈍板から作製した試験片を、水蒸気雰囲気中酸化試験に供した。水蒸気雰囲気酸化試験は、各冷延焼鈍板から30 mm × 20 mmの試験片を切り出し、試験片上部に4 mm の穴を明け、表面および端面を#320のエメリー紙で研磨後、脱脂した。この試験片を、950 に加熱された10%CO₂ - 20%H₂O - 5%O₂ - bal . N₂ ガスを0.5 L / minで流し、水蒸気雰囲気とした炉中に、200時間保持した。試験後、試験片の質量を測定し、予め測定しておいた試験前の質量との差を求め、酸化増量 (g / m²) を算出した。評価は2回実施し、その平均値で最終的に評価した。

10

【0054】

さらに、上記冷延焼鈍板から15 mm × 10 mmを切り出し、L断面において、シュウ酸エッチング (JIS G 571) を行った。エッチングには10%シュウ酸溶液を用い、室温で1 A / cm² の電流を90 min間流した。その後の組織を観察し、粒界の著しい腐食 (溝状組織) が見られたものを鋭敏化材と判断した。

20

【0055】

一方、上記No. 1 ~ 40の成分組成を有する鋼の鋼塊を1170 に加熱後、熱間圧延により150 mm幅、35 mm厚の熱延シートバーとした。鍛造加工により30 mm のバーとし、1040 で焼鈍後、機械加工により熱疲労試験片に加工し、熱疲労寿命の評価に供した。

【0056】

熱疲労試験は、拘束率0.8で200 - 850 間を繰り返し昇温・降温させた。昇温・降温は5 / s、850 保持時間は1分の条件で実施した。熱疲労寿命の定義は図1の評価のときと同じである。

【0057】

得られた結果を表2に示す。表2から明らかなように、本発明例は、いずれもSUS444と同等以上の熱疲労寿命およびSUS444を上回る1050 耐酸化性を示しており、本願発明の目標が達成されていることが確認された。一方、本発明範囲を外れる比較例では両特性を同時に満足しておらず、本発明の目標が達成されないことが確認された。また、比較例のうちNbの含有量が10 (C + N) より少ないものについては鋭敏化が発生した。

30

【0058】

また、本発明例のうち、Siが0.4%以上のものは、優れた耐水蒸気酸化性が得られることが確認された。

【0059】

40

【表 1 - 1】

化学組成の単位: mass%

No.	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Ni	Nb	備考
1	0.008	0.30	0.24	0.044	0.029	0.003	21.1	0.12	0.45	本発明例
2	0.008	0.29	0.27	0.044	0.030	0.002	20.9	0.10	0.46	本発明例
3	0.009	0.31	0.23	0.046	0.031	0.003	21.1	0.09	0.43	本発明例
4	0.008	0.28	0.28	0.048	0.030	0.002	21.0	0.09	0.47	本発明例
5	0.008	0.32	0.26	0.044	0.029	0.004	20.9	0.10	0.46	本発明例
6	0.006	0.31	0.25	0.045	0.029	0.004	20.9	0.11	0.48	本発明例
7	0.007	0.32	0.25	0.045	0.030	0.003	20.8	0.09	0.45	本発明例
8	0.009	0.31	0.27	0.046	0.030	0.004	21.2	0.11	0.43	本発明例
9	0.007	0.31	0.26	0.044	0.031	0.003	21.1	0.10	0.45	本発明例
10	0.007	0.29	0.27	0.047	0.030	0.003	20.4	0.10	0.43	本発明例
11	0.007	0.30	0.25	0.045	0.030	0.002	21.1	0.11	0.45	本発明例
12	0.006	0.53	0.19	0.047	0.029	0.003	20.9	0.10	0.42	本発明例
13	0.009	0.94	0.21	0.044	0.031	0.003	20.3	0.09	0.46	本発明例
14	0.007	0.81	0.20	0.046	0.030	0.002	21.4	0.11	0.45	本発明例
15	0.008	0.52	0.20	0.090	0.030	0.003	20.2	0.10	0.43	本発明例
16	0.006	0.80	0.19	0.170	0.028	0.003	20.8	0.10	0.44	本発明例
17	0.007	0.96	0.22	0.280	0.032	0.004	22.5	0.12	0.47	本発明例
18	0.009	0.32	0.26	0.045	0.030	0.004	20.8	0.09	0.42	比較例
19	0.007	0.30	0.24	0.045	0.030	0.003	21.0	0.10	0.47	比較例
20	0.007	0.30	0.22	0.045	0.030	0.003	21.2	0.09	0.45	比較例
21	0.007	0.28	0.22	0.045	0.030	0.003	21.1	0.10	0.45	比較例
22	0.007	0.30	0.24	0.046	0.029	0.004	21.2	0.12	0.47	比較例
23	0.008	0.30	0.23	0.047	0.031	0.002	21.0	0.10	0.45	比較例
24	0.008	0.31	0.23	0.045	0.031	0.003	21.0	0.11	0.46	比較例
25	0.007	0.32	0.26	0.046	0.030	0.003	20.9	0.09	0.44	比較例
26	0.007	0.31	0.25	0.046	0.031	0.003	20.9	0.10	0.47	比較例
27	0.008	0.31	0.24	0.046	0.029	0.002	20.9	0.10	0.43	比較例
28	0.008	0.30	0.24	0.045	0.030	0.003	21.0	0.12	0.46	比較例
29	0.007	0.30	0.26	0.044	0.029	0.004	21.0	0.09	0.45	比較例
30	0.008	0.32	0.24	0.046	0.028	0.003	<u>19.8</u>	0.09	0.44	比較例
31	0.010	0.49	0.41	0.020	0.030	0.004	<u>13.6</u>	0.10	0.28	比較例*1
32	0.009	0.35	<u>0.72</u>	0.020	0.030	0.003	<u>19.1</u>	0.25	0.31	比較例*2
33	<u>0.020</u>	0.54	0.15	0.007	0.029	0.005	22.0	0.24	0.30	比較例*3
34	<u>0.021</u>	0.94	0.24	0.160	0.030	0.002	<u>15.2</u>	0.24	0.36	比較例*4
35	0.007	0.18	0.18	0.045	0.020	0.005	<u>17.8</u>	0.21	0.39	比較例*5
36	0.008	0.31	0.42	0.019	0.031	0.003	<u>18.7</u>	0.26	0.52	比較例*6
37	0.008	0.84	0.35	0.021	0.024	0.002	<u>14.4</u>	0.29	0.16	比較例*7
38	0.008	0.28	0.27	0.045	0.012	0.007	<u>17.5</u>	0.25	0.31	比較例*8
39	0.004	0.85	0.15	0.042	0.025	0.003	<u>17.5</u>	0.09	0.38	比較例*9
40	0.011	0.55	<u>0.89</u>	0.040	0.019	0.004	<u>14.2</u>	0.10	0.28	比較例*10

下線は本発明の範囲外

* 1:特許第4369596号(特許文献5) * 2:特開平7-70709号(特許文献6) * 3:特開平6-158162号

* 4:特開2000-144344 * 5:特開2010-43324 * 6:SUS444

* 7:特開2010-156008号(特許文献7) * 8:特開2010-43327号(特許文献9)

* 9:特開2002-30346号(特許文献10) * 10:特開平6-184637号(特許文献11)

【表 1 - 2】

化学組成の単位: mass%

No.	V	N	その他	V*N	Si-Al	Nb/ (C+N)	備考
1	0.21	0.020		0.00420	0.26	16.1	本発明例
2	0.33	0.019		0.00627	0.25	17.0	本発明例
3	0.55	0.019		0.01045	0.26	15.4	本発明例
4	0.19	0.018		0.00342	0.23	18.1	本発明例
5	0.21	0.029		0.00609	0.28	12.4	本発明例
6	0.19	0.036		0.00684	0.27	11.4	本発明例
7	0.24	0.020	Zr:0.003	0.00480	0.28	16.7	本発明例
8	0.24	0.019	Ti:0.005	0.00456	0.26	15.4	本発明例
9	0.26	0.020	Ta:0.004	0.00520	0.27	16.7	本発明例
10	0.24	0.020		0.00480	0.24	15.9	本発明例
11	0.26	0.022		0.00572	0.26	15.5	本発明例
12	0.27	0.021		0.00567	0.48	15.6	本発明例
13	0.25	0.019		0.00475	0.90	16.4	本発明例
14	0.26	0.020		0.00520	0.76	16.7	本発明例
15	0.29	0.022		0.00638	0.43	14.3	本発明例
16	0.27	0.019		0.00513	0.63	17.6	本発明例
17	0.25	0.021		0.00525	0.68	16.8	本発明例
18	<u>0.08</u>	0.021		<u>0.00168</u>	0.28	14.0	比較例
19	<u>0.73</u>	0.020		0.01460	0.26	17.4	比較例
20	0.20	<u>0.007</u>		<u>0.00140</u>	0.26	32.1	比較例
21	0.20	<u>0.048</u>		0.00960	0.24	<u>8.2</u>	比較例
22	<u>0.07</u>	<u>0.012</u>		<u>0.00084</u>	0.25	24.7	比較例
23	0.17	0.017		<u>0.00289</u>	0.25	18.0	比較例
24	<u>0.77</u>	<u>0.042</u>		<u>0.03234</u>	0.27	<u>9.2</u>	比較例
25	0.52	0.036		<u>0.01872</u>	0.27	10.2	比較例
26	0.25	0.019	Zr:0.014	0.00475	0.26	18.1	比較例
27	0.25	0.020	Zr:0.018	0.00500	0.26	15.4	比較例
28	0.24	0.021	Ti:0.012	0.00504	0.26	15.9	比較例
29	0.24	0.021	Ta:0.015	0.00504	0.26	16.1	比較例
30	0.25	0.019		0.00475	0.27	16.3	比較例
31	0.39	<u>0.065</u>		<u>0.02535</u>	0.47	<u>3.7</u>	比較例*1
32	<u>0.63</u>	<u>0.052</u>		<u>0.03276</u>	0.33	<u>5.1</u>	比較例*2
33	0.22	0.024	Zr:0.074	0.00528	0.53	<u>6.8</u>	比較例*3
34	0.40	0.015	Ti:0.090	0.00600	0.80	<u>9.7</u>	比較例*4
35	0.19	0.020		0.00380	0.14	14.4	比較例*5
36	0.02	0.008	Ti:0.003 Mo:1.87 W:0.02	0.00016	0.29	32.5	比較例*6
37	0.39	0.038	Cu:0.04	0.01482	0.82	<u>3.4</u>	比較例*7
38	0.34	0.020		0.00680	0.24	11.1	比較例*8
39	0.15	<u>0.008</u>	Cu:0.44	<u>0.00120</u>	0.81	21.8	比較例*9
40	<u>0.11</u>	<u>0.008</u>	Zr:0.10 Mo:0.80	<u>0.00088</u>	0.51	14.7	比較例*10

下線は本発明の範囲外

- * 1:特許第4369596号(特許文献5) * 2:特開平7-70709(特許文献6) * 3:特開平6-158162
 * 4:特開2000-144344 * 5:特開2010-43324 * 6:SUS444
 * 7:特開2010-156008号(特許文献7) * 8:特開2010-43327号(特許文献9)
 * 9:特開2002-30346号(特許文献10) * 10:特開平6-184637号(特許文献11)

【表 2】

No.	熱疲労特性 (850℃) (サイクル)	耐酸化性 (1000℃) (g/m ²)	耐酸化性 (1050℃) (g/m ²)	水蒸気酸化 950℃ (g/m ²)	鋭敏化	備考
1	550	19	79	66	○	本発明例
2	570	21	75	61	○	本発明例
3	560	21	79	64	○	本発明例
4	560	19	74	69	○	本発明例
5	560	20	75	63	○	本発明例
6	540	21	78	68	○	本発明例
7	570	21	77	61	○	本発明例
8	560	19	78	63	○	本発明例
9	560	21	77	62	○	本発明例
10	550	23	80	68	○	本発明例
11	560	21	77	69	○	本発明例
12	540	18	70	49	○	本発明例
13	560	17	68	45	○	本発明例
14	550	18	67	46	○	本発明例
15	580	16	64	42	○	本発明例
16	590	15	59	40	○	本発明例
17	570	16	58	44	○	本発明例
18	410	20	90	65	○	比較例
19	450	20	77	≥100	○	比較例
20	420	21	78	73	○	比較例
21	400	20	77	89	×	比較例
22	350	19	94	64	○	比較例
23	440	20	76	66	○	比較例
24	360	19	75	≥100	×	比較例
25	460	20	76	67	○	比較例
26	440	20	78	64	○	比較例
27	340	19	76	68	○	比較例
28	460	21	77	64	○	比較例
29	430	20	78	66	○	比較例
30	560	24	≥100	65	○	比較例
31	380	≥100	≥100	49	×	比較例*1
32	410	71	≥100	88	×	比較例*2
33	460	21	75	46	×	比較例*3
34	380	99	≥100	47	×	比較例*4
35	570	23	≥100	≥100	○	比較例*5
36	520	33	≥100	51	○	比較例*6
37	360	30	≥100	46	×	比較例*7
38	560	19	≥100	82	○	比較例*8
39	400	20	≥100	48	○	比較例*9
40	290	48	≥100	73	○	比較例*10

下線は本発明の範囲外

* 1:特許第4369596号(特許文献5) * 2:特開平7-70709(特許文献6) * 3:特開平6-158162

* 4:特開2000-144344 * 5:特開2010-43324 * 6:SUS444

* 7:特開2010-156008号(特許文献7) * 8:特開2010-43327号(特許文献9)

* 9:特開2002-30346号(特許文献10) * 10:特開平6-184637号(特許文献11)

※鋭敏化判定基準: ×→粒界腐食(溝状組織), ○→鋭敏化なし

【産業上の利用可能性】

【0062】

10

20

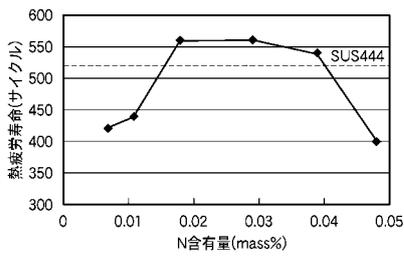
30

40

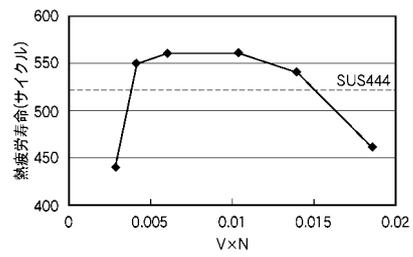
50

本発明の鋼は、自動車等の排気系部材用として好適であるだけでなく、同様の特性が要求される火力発電システムの排気系部材や固体酸化物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。

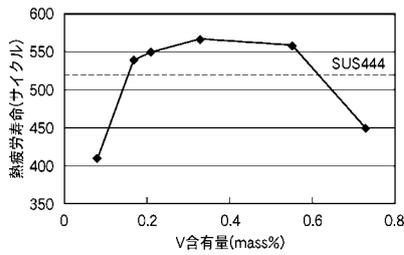
【 図 1 】



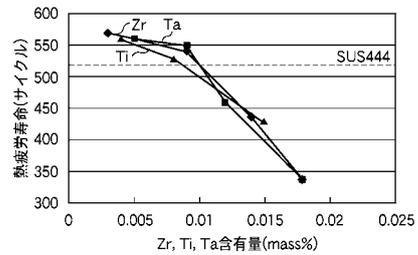
【 図 3 】



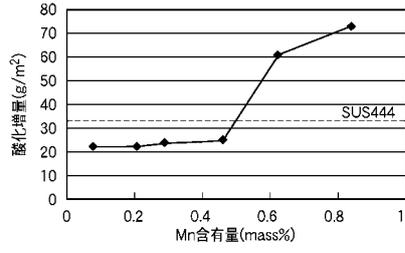
【 図 2 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

