

(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2010-285683

(P2010-285683A)

(43) 公開日 平成22年12月24日(2010.12.24)

(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	4 K 0 3 7
C 2 2 C 38/38 (2006.01)	C 2 2 C 38/38	
C 2 2 C 38/58 (2006.01)	C 2 2 C 38/58	
B 2 3 K 35/30 (2006.01)	B 2 3 K 35/30 3 1 0 D	
C 2 1 D 9/46 (2006.01)	C 2 1 D 9/46 R	
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2009-142666 (P2009-142666)
 (22) 出願日 平成21年6月15日 (2009.6.15)

(71) 出願人 000004581
 日新製鋼株式会社
 東京都千代田区丸の内3丁目4番1号
 (74) 代理人 100129470
 弁理士 小松 高
 (74) 代理人 100076130
 弁理士 和田 憲治
 (72) 発明者 奥 学
 山口県周南市野村南町4976番地 日新製鋼株式会社内
 (72) 発明者 中村 定幸
 山口県周南市野村南町4976番地 日新製鋼株式会社内

最終頁に続く

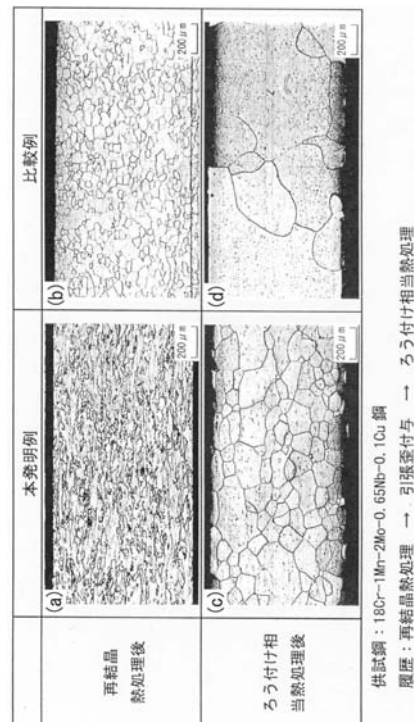
(54) 【発明の名称】 ろう付け用フェライト系ステンレス鋼材および熱交換器部材

(57) 【要約】

【課題】 熱交換器部材として高温ろう付けに曝された場合に粗粒化が防止されるフェライト系ステンレス鋼材を提供する。

【解決手段】 質量%で、C : 0.03%以下、Si : 0.1超え~3%、Mn : 0.1~2%、Cr : 10~35%、Nb : 0.2~0.8%、N : 0.03%以下であり、必要に応じて、Mo、Cu、VおよびWの1種以上を合計4%以下、あるいはさらにTiおよびZrの1種以上を合計0.5%以下、あるいはさらにNiおよびCoの1種以上を合計5%以下、あるいはさらにAl : 6%以下、REM (希土類元素) : 0.2%以下、Ca : 0.1%以下の1種以上を含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物であり、冷間加工後の加熱によって生成した再結晶粒の面積率が10~80%である部分再結晶組織を有するろう付け用フェライト系ステンレス鋼材。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

質量%で、C：0.03%以下、Si：0.1超え～3%、Mn：0.1～2%、Cr：10～35%、Nb：0.2～0.8%、N：0.03%以下、残部がFeおよび不可避的不純物である化学組成を有し、冷間加工後の加熱によって生成した再結晶粒の面積率が10～80%である部分再結晶組織を有するろう付け用フェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 2】

さらに、Mo、Cu、VおよびWの1種以上を合計4%以下の範囲で含有する化学組成を有する請求項1に記載のフェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 3】

さらに、TiおよびZrの1種以上を合計0.5%以下の範囲で含有する化学組成を有する請求項1または2に記載のフェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 4】

さらに、NiおよびCoの1種以上を合計5%以下の範囲で含有する化学組成を有する請求項1～3のいずれかに記載のフェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 5】

さらに、Al：6%以下、REM（希土類元素）：0.2%以下、Ca：0.1%以下の1種以上を含有する化学組成を有する請求項1～4のいずれかに記載のフェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 6】

CおよびNの合計含有量が0.01%以上である請求項1～5のいずれかに記載のフェライト系ステンレス鋼材。

【請求項 7】

請求項1～6のいずれかに記載の鋼材をJIS Z 3265に規定されるニッケルろう、Niを35質量%以上含有するニッケルろう、JIS Z 3262に規定される銅ろうまたは銅合金ろう、および鉄ろうのいずれかを用いてろう付けしてなる部材であって、当該鋼材のフェライト結晶粒が、肉厚を貫通せず、かつ平均結晶粒径500μm以下である熱交換器部材。

【請求項 8】

前記熱交換器部材は、JIS Z 3265に規定されるニッケルろう、またはNiを35質量%以上含有するニッケルろうを用いてろう付けしてなる自動車のEGRクーラーである請求項7に記載の熱交換器部材。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、ニッケルろう付けなどの高温のろう付けが適用される熱交換器部材に適したフェライト系ステンレス鋼材、およびそれを用いてろう付け施工した熱交換器部材に関する。

【背景技術】**【0002】**

自動車をはじめとする内燃機関搭載車両では、排ガス中のNO_x低減や燃費向上を目的として、EGR（Exhaust Gas Recirculation；排気ガス再循環）の手法が採用されることがある。これは、内燃機関から排出された排ガスの一部を取り出し、内燃機関の吸気側から再度吸気させる技術であり、主としてディーゼル機関で普及してきたが、近年ではガソリン機関にも適用されるようになってきた。

【0003】

EGRシステムにおいては、排ガスを循環可能な温度まで冷却する装置が必要となる。これがEGRクーラーである。

【0004】

また、給湯器の潜熱回収器などにおいても燃焼排ガス中のCO₂低減と熱の再利用を目

10

20

30

40

50

的とした熱交換器が使用されており、現行200程度で排出している燃焼ガスの温度を50～80まで低減させることができる二次熱交換器なども開発されている。

【0005】

図1、図2に、排ガスの熱を回収する熱交換器の一般的な構造を模式的に例示する。外筒で構成される排ガス流路の一部に2枚の仕切り板で仕切られた熱交換セクションが設けられ、そのセクションでは冷却水に熱を逃がす熱交換器が構成されている。仕切り板には穴を設けた箇所に通気管が接合されており、熱交換セクションでは通気管の中を排ガスが流れる。通気管の周囲には冷却水が流れるようになっている。通気管は金属製の単なるパイプで構成されるタイプ(図1)や、管の内部にフィンを設けたタイプ(図2)などがある。

10

【0006】

このような熱交換器は、外筒、仕切り板、通気管、あるいはさらに通気管内のフィンといった金属部材で構成され、それらの部材はろう付けによって接合される。ろう材としては銅ろう、銅合金ろう、ニッケルろう、鉄ろうなどが使用される。ただし、EGRクーラーなどでは熱交換セクション入り側の排ガス温度は最高800程度、出側の温度は最高200程度に達することがあるので、耐高温酸化性および高温強度に優れるニッケルろう(JIS Z3265のBNi-5、BNi-6など)が適用されることが多い。

【0007】

熱交換器を構成する金属部材には、以下のような特性が要求される。

(1) ろう付け性が良好であること。

20

(2) 使用環境での耐食性が良好であること。例えば自動車用途では融雪塩に対する耐食性が良好であること。特にEGR用途ではさらにLLC(ロングライフクーラント; 例えばエチレングリコール)に対する耐食性が良好であること。給湯器用途では屋外環境に曝された場合の耐食性が良好であること。

(3) 冷却水(熱媒体)に対する耐食性が良好であること。例えばEGR用途ではLLC(ロングライフクーラント; 例えばエチレングリコール)に対する耐食性が良好であること。

(4) 凝結水の結露に対する耐食性が良好であること。エンジン排ガスや燃焼排ガスに曝される部材では、運転中は排ガス出側付近に結露が生じやすく、運転後は排ガス接触箇所に結露が生じやすいからである。

30

(5) 高温強度と耐高温酸化性が良好であること。排ガスの熱を回収する熱交換器は高温のガスに曝されるからである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-193205号公報

【特許文献2】特開平7-292446号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

40

上記の要求特性から、現在、排ガスの熱を回収する熱交換器の金属部材にはSUS304、SUS316に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼が主として使用されている。例えば特許文献1には、オーステナイト系ステンレス鋼を用いた排気ガス再循環系部品が記載されている。しかし、オーステナイト系ステンレス鋼は熱膨張係数が大きいため、高温で生成した部材表面の酸化スケールが冷却時に剥離して管路内に流入したり、加熱・冷却の繰り返しによる熱疲労破壊が生じたりしやすい。高温強度についても更なる改善が望まれる。また、高価なNiを多量に含有するため材料コストも高い。

【0010】

一方、フェライト系ステンレス鋼は熱膨張係数がオーステナイト系鋼種よりも小さく、また、材料コストも一般にオーステナイト系鋼種より安価である。排ガス経路を構成する

50

エキゾーストマニホールドやマフラーなどにはフェライト系ステンレス鋼が多用されている。しかし、高温に曝されると結晶粒が粗大化しやすいという問題がある。例えば1100以上といった高温ろう付けに供されると、通常、フェライト系ステンレス鋼は結晶粒が異常に粗大化してしまう。この粗大化は、再結晶の進行過程で成長の速い再結晶粒が他の再結晶粒との食い合いによって成長するいわゆる二次再結晶が、高温加熱によって急激に進行する異常粒成長の現象であり、ここではこの異常粒成長を「粗粒化」と呼ぶ。粗粒化が起こったフェライト系ステンレス鋼材では、韌性が低下する。また肉厚を貫通するような粗大結晶粒が存在する部分では粒界腐食を基点として結晶粒が脱落することがあり、その場合には部材に貫通孔が開いてしまう。

【0011】

特許文献2には、ろう付け性の良い熱交換器用フェライト系ステンレス鋼が開示されている。しかし、このフェライト系ステンレス鋼は1100以上に曝されるような高温ろう付けを想定したのではなく、例えばニッケルろう付け性の改善や、その際の粗粒化防止に関しては未解決のままである。

【0012】

本発明は、熱交換器部材として上記のような高温に曝された場合に粗粒化が防止されるフェライト系ステンレス鋼材を提供すること、および、ろう付け後に粗粒化していないフェライト系ステンレス鋼材からなる熱交換器部材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】

【0013】

上記目的は、質量%で、C：0.03%以下、Si：0.1超え～3%、Mn：0.1～2%、Cr：10～35%、Nb：0.2～0.8%、N：0.03%以下であり、必要に応じて、Mo、Cu、VおよびWの1種以上を合計4%以下、あるいはさらにTiおよびZrの1種以上を合計0.5%以下、あるいはさらにNiおよびCoの1種以上を合計5%以下、あるいはさらにAl：6%以下、REM（希土類元素）：0.2%以下、Ca：0.1%以下の1種以上を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物であり、好ましくはCおよびNの合計含有量が0.01%以上である化学組成を有し、冷間加工後の加熱によって生成した再結晶粒の面積率が10～80%である部分再結晶組織を有するろう付け用フェライト系ステンレス鋼材によって達成される。

【0014】

また、本発明では上記の鋼材をJIS Z3265に規定されるニッケルろう、Niを35質量%以上含有するニッケルろう、JIS Z3262に規定される銅ろうまたは銅合金ろう、および鉄ろう（鉄を35質量%以上含有するろう材）のいずれかを用いてろう付けしてなる部材であって、当該鋼材のフェライト結晶粒が、肉厚を貫通せず、かつ平均結晶粒径500μm以下である熱交換器部材が提供される。具体的には排ガスの熱を回収する熱交換器を構成する外筒、仕切り板、通気管などが例示できる。また、特にJIS Z3265に規定されるニッケルろう、またはNiを35質量%以上含有するニッケルろうを用いてろう付けしてなる自動車のEGRクーラー部材が好適な対象となる。

【0015】

平均結晶粒径は、鋼材の肉厚方向および前記冷間加工の方向に垂直な断面（L断面）の金属組織において、個々のフェライト結晶粒の面積を測定して円相当径を算出し、それらの円相当径の平均値を用いる。観察領域は連続した1mm²以上の領域とする。画像処理装置を用いて測定することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、ニッケルろう付けのような高温ろう付けに供した場合に粗粒化が防止できるフェライト系ステンレス鋼材が提供された。この鋼材を用いることにより、オーステナイト系ステンレス鋼を部材に用いた従来の熱交換器に比べ、より熱疲労特性に優れ、酸化スケールの剥離が少なく、かつ材料コストの低い熱交換器が実現される。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 排ガスの熱を回収する熱交換器の構造を模式的に例示した図。

【 図 2 】 通気管内にフィンを有するタイプの排ガスの熱を回収する熱交換器の構造を模式的に例示した図。

【 図 3 】 0 ~ 2 0 % の範囲で引張歪を付与したフェライト系ステンレス鋼材を 1 1 7 5 で 3 0 分間加熱した後の結晶粒度 G をプロットしたグラフ。

【 図 4 】 フェライト系ステンレス鋼材について、再結晶熱処理後の断面組織およびそれらの材料にろう付け相当熱処理を施した場合の断面組織を例示した光学顕微鏡写真。

【 図 5 】 フェライト系ステンレス鋼材について、再結晶熱処理温度と、伸び率およびろう付け相当熱処理を施した後の結晶粒度 G の関係を例示したグラフ。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

発明者らの調査によれば、例えば鋼板試料を単純に 1 1 0 0 以上の高温（例えばニッケルろう付け温度域の 1 1 7 5 ）に加熱したときに粗粒化が生じない材料であっても、熱交換器部材に成形したのちにニッケルろう付けに供した際には粗粒化を生じて問題となることがあることがわかった。その原因として、高 Cr フェライト系鋼は、焼鈍後に 0 . 5 ~ 1 0 % 程度の比較的軽微な加工を施した場合に、高温加熱時の粗粒化を起こしやすいという性質を有していることが考えられる。図 3 に発明者らが行った実験結果の一例を示す。これは、0 ~ 2 0 % の範囲で引張歪を付与した 1 8 C r - 1 M n - 2 M o - 0 . 6 5 N b - 0 . 1 C u 鋼を 1 1 7 5 で 3 0 分間加熱した後の結晶粒度 G (J I S G 0 5 5 2 : 2 0 0 5) をプロットしたものである。0 . 5 ~ 5 % 程度の軽微な加工を施した場合に最も粗粒化が生じやすいことがわかる。熱交換器のろう付けに供する部材（外筒、仕切り板、通気管など）は成形加工後に、このような軽微な加工を受けた部分を含んでいることが多く、これが粗粒化を助長する要因となっているものと考えられる。

【 0 0 1 9 】

発明者らは、このような軽微な加工を受けたフェライト系ステンレス鋼材の高温加熱時の粗粒化を防止する手法について種々研究を行ってきた。その結果、素材を製造する段階の仕上焼鈍において、断面組織のうち再結晶粒の占める面積率（再結晶粒の面積率）が 1 0 ~ 8 0 % であるような部分再結晶組織としたとき、その後、軽微な成形加工を受けた後の高温加熱時に、粗粒化が顕著に防止できることを見出した。加工性を確保する観点から、再結晶粒の面積率は 3 0 ~ 7 0 % であることがより好ましい。「再結晶粒」は冷間加工後に行われる加熱によって新たに生じるフェライト結晶粒である。ここでは、この加熱処理を「再結晶熱処理」と呼ぶ。また上記の再結晶粒の面積率を「再結晶率」と呼ぶ。

【 0 0 2 0 】

図 4 に、1 8 C r - 1 M n - 2 M o - 0 . 6 5 N b - 0 . 1 C u 鋼の鋼板について、再結晶熱処理後の断面組織（ a ）（ b ）、および、それらの材料に約 2 % の加工歪を付与したのち 1 1 7 5 x 3 0 分の加熱に供するという、ろう付け相当熱処理を施した場合の断面組織（ c ）（ d ）を例示する。図 4 （ a ）は、冷間加工後の加熱によって生成した再結晶粒の面積率（再結晶率）が約 5 0 % の本発明に相当する鋼材である。再結晶率はこのような光学顕微鏡組織観察によって測定することができる。この観察面は圧延方向に平行な断面（ L 断面）であり、冷間加工によって圧延方向に伸びた結晶粒の中に、再結晶熱処理によって生成した新しい結晶粒（再結晶粒）が見られ、部分再結晶組織を呈している。図 4 （ c ）に見られるように、ろう付けに相当する熱処理後において粗粒化は生じていない。一方、図 4 （ b ）は、再結晶率が 9 5 % 以上の一般的な焼鈍材である。このような組織状態の鋼材の場合、図 4 （ d ）に見られるように、ろう付けに相当する熱処理後において粗粒化が生じる。肉厚を貫通しているフェライト結晶粒も存在する。

【 0 0 2 1 】

具体的には、再結晶率は以下のようにして測定することができる。L 断面において、フッ酸と硝酸の混合液により金属組織を現出させ、その L 断面に 0 . 5 m m ² 以上の測定領域を設け、測定領域に存在する結晶粒（測定領域の境界線により分断されている結晶粒を含

10

20

30

40

50

む)を、変形組織(すべり帯)が観測される結晶粒と観測されない結晶粒に分類し、測定領域に占める「変形組織が観測されない結晶粒」の合計面積の割合(%)を求め、この値を再結晶率とする。

【0022】

再結晶率は、再結晶熱処理前の冷間加工率、再結晶熱処理の温度および時間によって制御することができる。再結晶熱処理前の冷間加工率は25~90%の範囲とすることが望ましい。この範囲の加工率を有する冷間加工材を用いることによって、再結晶熱処理で所定の再結晶率を精度良く実現するための制御が行い易くなる。鋼の成分組成によって多少変動するが、例えばNb含有フェライト系ステンレス鋼の場合、約75%の冷間圧延材の場合、再結晶率10~80%の部分再結晶組織を得るための再結晶熱処理の適正条件は、再結晶熱処理温度(材料温度):900~1000、熱処理時間(材料の中心部が所定の熱処理時間に維持される「均熱時間」):0~3分の範囲に見出すことができる。

10

【0023】

図5に、18Cr-1Mn-2Mo-0.65Nb-0.1Cu鋼の加工率75%の冷間圧延材を用いて種々の温度で均熱1分の再結晶熱処理を施した材料について、引張試験を行って伸び率を調べたデータ(実線)、および、再結晶熱処理後の材料について、約2%の加工歪を付与したのち1175×30分の加熱に供するという、ろう付け相当熱処理を施した後の結晶粒度G(JIS G0552:2005)のデータ(破線)を例示する。白抜きプロットが再結晶率10~80%に相当する本発明の材料、黒塗りプロットが再結晶率が80%を超える材料である。再結晶熱処理の温度が低くなるほど再結晶率が小さくなり、それに伴って当該材料の伸び率は低下する。熱交換器部材への加工を行うためには少なくとも10%程度の伸び率を有する材料を選択することが望ましいが、再結晶率80%以下の範囲において伸び率10%は十分に確保できる。また、再結晶率10~80%の材料を用いた場合、高温ろう付け後の粗粒化が防止できる。これに対し、再結晶熱処理の温度が高くなると再結晶率が80%を超え、一般的なフェライト系ステンレス鋼の焼鈍材と同様、伸び率(加工性)は良好である反面、高温ろう付け後の結晶粒度Gは-3となり、顕著な粗粒化が起こってしまう。本発明で規定する組成範囲の鋼では、いずれも同様の傾向が認められる。

20

【0024】

次に成分元素について説明する。成分組成における「%」は特に断らない限り「質量%」を意味する。

30

C、Nは、Nbとの複合添加において、Nb炭化物・窒化物を形成する元素である。これらの析出物によってNbが消費され固溶Nbが減少すると、固溶Nbによる高温強度の向上効果および結晶粒粗大化の抑制効果が阻害される。したがって、本発明ではC含有量は0.03%以下に制限する必要があるが、0.025%以下であることが好ましい。また、N含有量も0.03%以下に制限する必要があるが、0.025%以下であることが好ましい。

【0025】

ただし、高温ろう付け時の結晶粒粗大化の抑制については、Nb炭化物・窒化物によるピン止め効果も寄与しうる。したがって、ある程度のC、N含有量を確保することが有利である。種々検討の結果、CとNの合計含有量を0.01質量%以上とすることが望ましい。個々の元素については、C:0.005質量%以上、N:0.005質量%以上を確保することがより好ましい。

40

【0026】

Siは、高温酸化特性を改善させる元素である。しかし、過剰のSi含有はフェライト相を硬質化させ、加工性劣化の要因となる。また、ニッケルろう付け性(ニッケルろう材との濡れ性)を劣化させる。種々検討の結果、Si含有量は0.1超え~3%の範囲に制限され、0.3~2.5%の範囲とすることがより好ましい。上限は1.5%に規制することもできる。

【0027】

50

Mnは、高温酸化特性、特に耐スケール剥離性を改善させる元素である。しかし、過剰に添加すると高温でのオーステナイト相の生成を助長させる。本発明では1100以上でのろう付け温度でオーステナイト相が生成しないフェライト単相系の成分組成とすることが望ましい。種々検討の結果、Mn含有量は0.1~2%の範囲に規定する。

【0028】

Crは、高温における耐酸化特性を安定させる作用を有する。そのためには10%以上のCr含有量を確保する必要がある。しかし、過剰のCr含有は製造性および鋼材の加工性を阻害する。したがって、Cr含有量は35%以下の範囲に制限され、25%以下とすることがより好ましい。

【0029】

Nbは、本発明において重要な元素であり、高温強度の上昇と高温ろう付け時の結晶粒粗大化の抑制に有効に作用する。高温強度の向上に関しては、主としてNbの固溶強化が大きく寄与するが、フェライトマトリクス中に微細に分散した Fe_2Nb (Laves) や、 Fe_3NbC (M6X) などの析出物によるピン止め効果も結晶粒粗大化の抑制に有効に作用すると考えられる。これらの作用を十分に発揮させるためには、C、N含有量を前記の範囲に規制した上で、Nb含有量を0.2%以上確保することが重要である。特に高温ろう付け時の結晶粒粗大化を抑制するためにはNb含有量を高めることが効果的であり、0.3%以上あるいはさらに0.4%以上のNb含有量とすることが好ましい。ただし、Nb含有量が多くなると、熱間加工性や鋼材の表面品質特性に悪影響を及ぼすようになる。したがって、Nb含有量は0.8%以下の範囲に制限される。

【0030】

Mo、Cu、V、Wも、主として固溶強化により高温強度の向上に寄与する。したがって、必要に応じてこれらの元素の1種以上を含有させることができる。特に、これらの元素の合計含有量を0.05%以上確保することがより効果的である。しかし、これらの元素を過剰に添加すると熱間加工性に悪影響を及ぼすようになる。また、低温靱性を阻害する要因にもなる。種々検討の結果、Mo、Cu、V、Wの1種以上を添加する場合は、その合計含有量を4%以下に抑える必要がある。

【0031】

Ti、ZrはCやNと結合して微細析出物を形成し、これが鋼中に分散することにより高温強度を向上させる作用を呈する。したがって、必要に応じてこれらの元素の1種以上を含有させることができる。しかし、これらの元素はいずれも、多量に含有させると熱間加工性や表面品質特性の低下を招く要因となる。また、鋼材表面に強固な酸化皮膜を形成する元素であるから、その酸化皮膜によりろう材の流れが悪くなることがある。検討の結果、Ti、Zrの1種以上を添加する場合は、その合計含有量を0.5%以下に抑える必要がある。特に、その合計含有量を0.03~0.3%の範囲とすることが効果的であり、0.03~0.25%とすることがより好ましい。

【0032】

Ni、Coは、高温ろう付けによって結晶粒が若干粗大化した場合において、靱性低下の抑制に著しく効果がある。また、これらの元素は高温強度の向上にも有利である。したがって、必要に応じてこれらの元素の1種以上を含有させることができ、特にNi、Coの合計含有量を0.5%以上確保することがより効果的である。しかし、Ni、Coの過剰添加は、高温域でのオーステナイト相の生成を招くので好ましくない。Ni、Coの1種以上を添加する場合は、NiとCoの合計含有量を5%以下の範囲に抑える必要がある。

【0033】

Al、REM (希土類元素)、Caは、高温酸化特性を向上させる元素であり、本発明では必要に応じてこれらの1種以上を添加することができる。特にAl、REM、Caの合計含有量を0.01%以上確保することがより効果的である。しかし、多量に添加すると靱性低下等により製造性が低下する。種々検討の結果、Alは6%以下、REMは0.2%以下、Caは0.1%以下の範囲に抑える必要がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

以上の組成を有するフェライト系ステンレス鋼は、融雪塩に対する耐食性、LLCに対する耐食性、および凝結水に対する耐食性については、従来の熱交換器に使用されているオーステナイト系鋼種と比べ、問題のないレベルであることが確認された。排ガス環境における高温強度（0.2%耐力）および耐スケール剥離性については、オーステナイト系鋼種よりも改善されている。

【 0 0 3 5 】

上記組成のフェライト系ステンレス鋼を前述の再結晶熱処理に供し、再結晶率10～80%の部分再結晶組織とすることによって、本発明の鋼材が得られる。この鋼材は、排ガスの熱を回収する熱交換器を構成する外筒、仕切り板、通気管、通気管の中に取り付けられるフィンなどの部材に加工される。これら部材は、ニッケルろう付けなどにより接合され、熱交換器が構築される。

10

【 実施例 】

【 0 0 3 6 】

表1に示す化学組成の鋼を溶製し、得られた鋼塊を丸棒および板に熱間鍛造することにより、直径15mmの丸棒と、板厚30mmの板に加工した。丸棒には保持温度を1000～1100の範囲内に設定して溶体化処理を施した。板は熱間圧延にて板厚4mmの熱延板とし、これに焼鈍を施したのち、冷間圧延にて板厚1mmとし、次いで保持温度を850～1100の範囲内に設定して最終焼鈍として再結晶熱処理を施し、種々の再結晶率を有する材料を得た。その後、一部の材料を除き、高温ろう付け時に結晶粒粗大化が生じやすいとされる軽度の加工率（表2中に記載）にて冷間圧延を施し、供試鋼板とした。なお、鋼No.Nはオーステナイト系ステンレス鋼である。

20

【 0 0 3 7 】

【表 1】

区分	鋼 No.	化学組成 (質量%)																
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Nb	Ti	Al	N	Mo	Cu	W	V	Co	Zr	REM	Ca
発明 対象鋼	A	0.009	0.92	1.09	-	13.93	0.39	-	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	0.012	0.54	0.24	-	18.53	0.43	-	-	0.012	-	0.46	-	-	-	-	-	-
	C	0.008	0.28	1.02	-	18.37	0.42	-	-	0.013	1.93	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.008	0.33	1.01	-	18.33	0.63	-	-	0.011	2.01	-	-	-	-	-	-	-
	E	0.009	0.69	1.33	0.72	19.01	0.31	0.06	0.07	0.009	-	0.45	0.09	0.04	-	-	-	-
	F	0.007	2.30	0.24	0.26	16.49	0.55	0.13	-	0.008	0.34	1.30	0.10	-	0.03	-	-	-
	G	0.013	0.58	0.64	0.37	17.34	0.75	-	0.25	0.009	-	-	0.18	0.06	-	-	0.05	0.03
	H	0.025	0.50	0.87	0.93	16.44	0.60	0.07	0.06	0.014	-	0.22	-	0.05	3.21	-	-	-
	I	0.006	0.95	0.88	-	10.50	0.51	-	0.08	0.009	0.10	0.30	-	0.09	-	-	-	-
	J	0.009	0.26	0.47	0.25	17.28	0.49	-	0.09	0.012	0.16	0.43	-	-	-	0.15	-	-
	K	0.008	0.30	0.28	-	18.38	0.39	-	0.09	0.016	-	0.57	3.15	0.04	-	-	-	-
	L	0.035	0.30	2.80	-	22.30	0.10	0.07	0.07	0.022	0.11	0.50	0.08	-	-	-	-	-
	M	0.016	0.50	0.44	0.26	18.46	0.22	0.35	-	0.009	3.41	1.60	-	0.04	0.03	-	-	-
	N	0.013	0.46	0.34	8.50	15.97	0.29	0.23	0.25	0.009	0.12	0.55	-	0.04	0.53	-	-	-

下線: 本発明規定範囲外

【0038】

得られた供試材を用いて以下の特性を調べた。

〔700 における0.2%耐力〕

溶体化処理後の丸棒から平行部の直径が10mmの高温引張試験片を作製し、常温で約2%の引張歪を付与した後、JIS G0567に準拠して700の高温引張試験を実

10

20

30

40

50

施し、0.2%耐力を測定した。700 における0.2%耐力が100 N/mm²以上であるものは熱交換器として従来のオーステナイト系鋼種を上回る特性を呈することから、ここではそのような特性を具備するものを合格と判定した。

【0039】

〔繰り返しサイクルでの高温酸化特性〕

板厚1mmの供試鋼板から25mm×35mmの試料を切り出し、1175 ×30分のろう付け相当熱処理を施した後、全面を#400湿式研磨仕上とした高温酸化試験片を作製した。この試験片について、熱交換器部材としての繰り返し使用を模擬して、大気+60 飽和水蒸気の雰囲気において「900 ×25分加熱 常温で10分間放冷」のサイクルを1000サイクル実施し、試験片の試験前と試験後の質量変化（プラスは増加、マイナスは減少）を試験前の試験片の表面積で除することにより、単位面積あたりの質量変化を求めた。この質量変化の絶対値が10mg/cm²以下であれば、熱交換器部材として優れた高温酸化特性を有していると評価され、5mg/cm²以下であるものは特に優れている。

10

【0040】

〔ろう付け性（濡れ性）〕

板厚1mmの供試鋼板から10mm×20mmのろう付け試験片を各鋼種2枚ずつ切り出した。うち1枚の試験片を水平に置いた状態で、その表面の全面にペースト状のろう材を0.5mm厚で塗布した。その上にもう1枚の試験片を重ね、試験片/ろう材/試験片の3層からなる積層体を構成し、これを水平に保ったまま真空炉に入れ、真空引き後に1175 で30分加熱した。冷却後に積層体を取り出し、上面に重ねた方（Niろうを塗布しなかった方）の試験片表面を観察し、表面のうちろう材で濡れた面積を試験片表面の全面積で除することによりろう材被覆率を求めた。ろう材被覆率が50%以上のものをA、20%以上50%未満のものをB、20%未満のものをCと評価し、B評価以上を合格とした。なお、ろう材は19質量%Cr-10質量%Si-71質量%Ni組成のもの（JIS Z3265のBNi-5相当品）を使用した。

20

【0041】

〔粗粒化に対する抵抗〕

上記のNiろう付け性を評価した試験片について、その断面（圧延方向および板厚方向に平行な断面；L断面）の金属組織を光学顕微鏡で観察した。エッチングは弗酸+硝酸の混酸で行った。平均結晶粒径が200μm以下のものをA、200μm超え500μm以下のものをB、500μm超えのものをCと評価し、B評価以上を合格と判定した。なお、平均結晶粒径は前述の円相当径による平均値を用いた。

30

これらの結果を表2に示す。

【0042】

【表 2】

表2

区分	No.	鋼 No.	再結晶熱処理温度 (°C)	再結晶率 (%)	ろう付け相当熱処理前の加工率 (%)	700°C 0.2%耐力 (N/mm ²)	900°C 繰り返し酸化試験質量変化 (mg/cm ²)	ろう付け性 (濡れ性)	粗粒化に対する抵抗
本発明例	1	A	850	23	2.03	148	2.1	A	A
	2	B	850	35	5.04	148	2.6	A	A
	3	C	950	55	2.02	170	1.6	A	A
	4	D	950	57	2.07	173	1.2	A	A
	5	E	950	45	4.99	121	2.2	A	A
	6	F	950	68	5.06	151	1.1	B	A
	7	G	950	45	5.02	138	2.4	B	A
	8	H	950	48	4.98	159	3.1	A	A
	9	I	950	51	2.04	148	4.1	A	A
	10	J	950	49	1.97	138	3.6	A	A
	11	K	950	55	2.00	145	2.9	A	A
比較例	21	A	1000	85	1.98	145	2.2	A	C
	22	A	1050	92	2.03	145	2.2	A	C
	23	B	1050	87	5.01	142	2.7	A	C
	24	C	1100	97	5.00	161	1.8	A	C
	25	E	1100	91	2.01	105	2.5	A	C
	26	L	1050	93	0	95	5.3	A	C
	27	M	1050	93	0	178	1.9	C	B
	28	N	1075	95	0	90	-50.5	C	A

10

20

30

【0043】

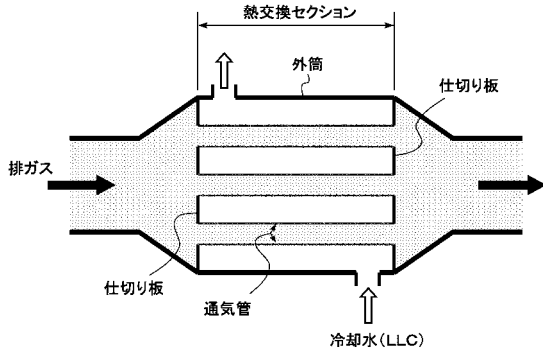
表2からわかるように、本発明例のフェライト系ステンレス鋼材は、比較例No.28のオーステナイト系ステンレス鋼材に比べ、700での0.2%耐力および繰り返しサイクルでの高温酸化特性に優れていた。ろう付け性（濡れ性）、粗粒化に対する抵抗も良好であり、熱交換器部材として十分満足できる特性を具備していることが確認された。

【0044】

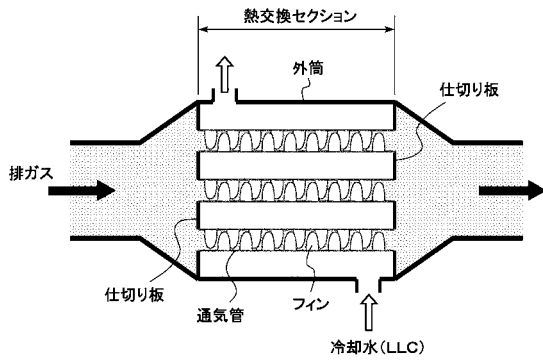
これに対し比較例No.21～25は本発明で規定する化学組成を満たしているものの、再結晶熱処理温度が不適切であったことにより再結晶率が80%を超えており、粗粒化を防止することができなかった。No.26はC含有量が高く、かつNb含有量が低いために固溶Nb量が不足し、高温強度（700の0.2%耐力）および粗粒化に対する抵抗性能に劣った。No.27はTi含有量が過剰であったためろう付け時に表面に酸化膜が生じやすくなり、ろう付け性に劣った。No.14はオーステナイト系ステンレス鋼材であり、高温強度（700の0.2%耐力）が他のフェライト系鋼種より低レベルであった。また熱膨張係数が大きいことも影響して繰り返しサイクルではスケールが剥離しやすく、質量変化がマイナスの大きな値となった。

40

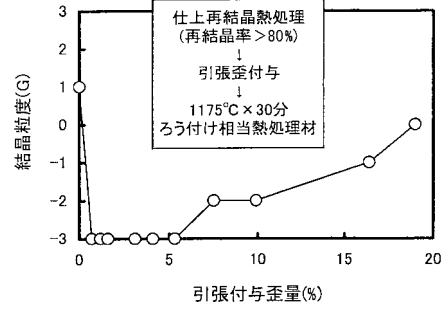
【 図 1 】



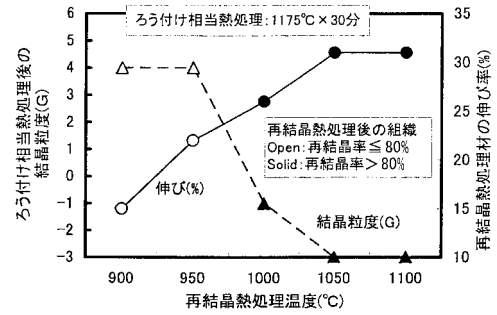
【 図 2 】



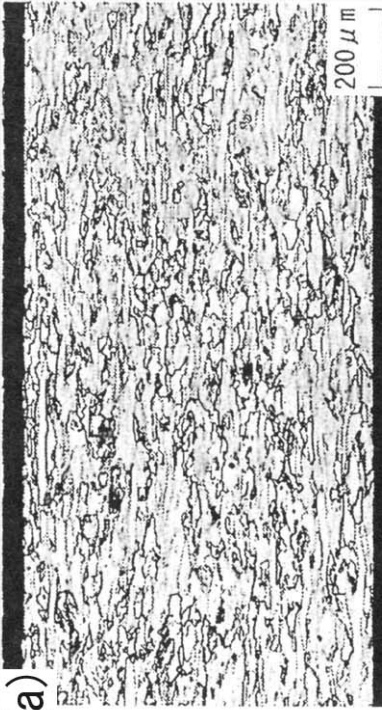
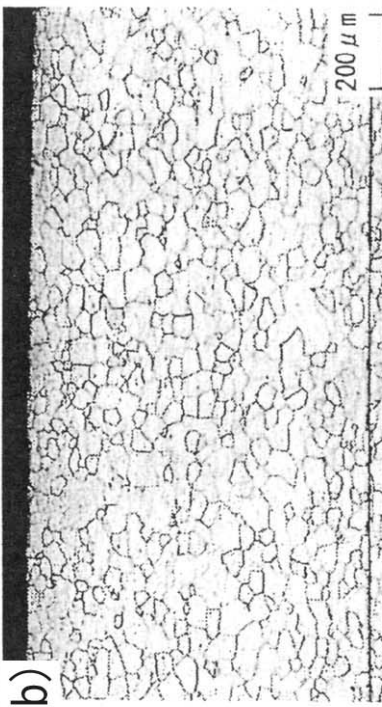
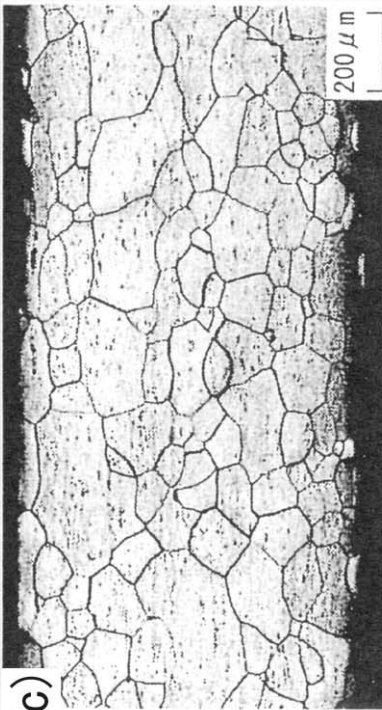
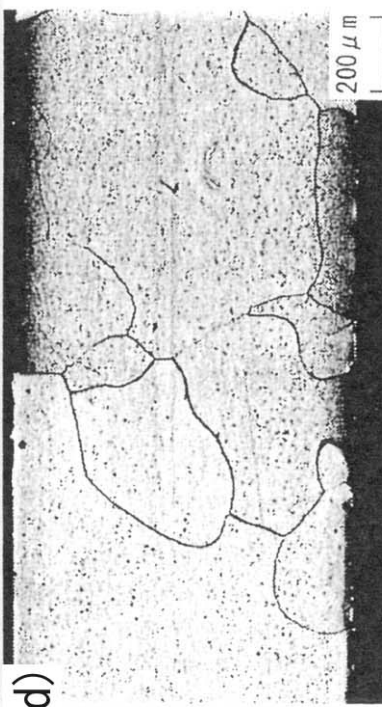
【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】

	本発明例	比較例
再結晶 熱処理後	 <p>(a)</p>	 <p>(b)</p>
ろう付け相 当熱処理後	 <p>(c)</p>	 <p>(d)</p>

供試鋼：18Cr-1Mn-2Mo-0.65Nb-0.1Cu 鋼

履歴：再結晶熱処理 → 引張歪付与 → ろう付け相当熱処理

フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
F 2 8 F 21/08 (2006.01) F 2 8 F 21/08 F

(72) 発明者 堀 芳明

山口県周南市野村南町 4 9 7 6 番地 日新製鋼株式会社内

F ターム(参考) 4K037 EA01 EA04 EA05 EA09 EA10 EA12 EA13 EA15 EA17 EA18
EA19 EA20 EA27 EA28 EA31 EA32 EA33 EA35 EA36 EB07
EB09 FH00 FJ06 FJ07