

(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2012-201893

(P2012-201893A)

(43) 公開日 平成24年10月22日(2012.10.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C 2 3 C 10/28 (2006.01)</b>	C 2 3 C 10/28	4 K O 2 8
<b>C 2 2 C 38/00 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/00 3 O 2 X	
<b>C 2 2 C 38/18 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/18	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2011-64717 (P2011-64717)	(71) 出願人	504182255 国立大学法人横浜国立大学 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(22) 出願日	平成23年3月23日 (2011.3.23)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
		(74) 代理人	100094400 弁理士 鈴木 三義
		(74) 代理人	100107836 弁理士 西 和哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐食性材料

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】金属間化合物 F e A l からなり、ニッケルを使用することなく、オーステナイト系ステンレス鋼と同等またはそれ以上に、塩酸、硝酸、硫酸などに対する耐食性に優れた耐食性材料を提供する。

【解決手段】鋼または鋳鉄の表面に、アルミニウム、クロムおよび鉄からなる合金膜を成膜し、当該合金膜を高温拡散処理して、クロムを含有する金属間化合物 F e A l が形成された耐食性材料とする。該クロムの含有量は、8 ~ 1 8 a t % であることが好ましい。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

クロムを含有する金属間化合物 FeAl からなることを特徴とする耐食性材料。

## 【請求項 2】

前記クロムの含有量は、8 ~ 18 at % であることを特徴とする請求項 1 に記載の耐食性材料。

## 【請求項 3】

鋼または鋳鉄の表面に、アルミニウム、クロムおよび鉄からなる合金膜を成膜し、当該合金膜を高温拡散処理して、クロムを含有する金属間化合物 FeAl が形成されたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の耐食性材料。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、金属間化合物 FeAl からなる耐食性材料に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

鋼の表面を金属、合金、金属間化合物またはセラミックスなどで複合化する技術としては、例えば、アルミナライジングやカロライジングと呼ばれる手法が用いられる。

アルミナライジングやカロライジングは、鋼の表面に純 Al および Al - Si 合金を付着させた後、拡散などの処理により、それらの全体または一部分を金属間化合物 FeAl とする技術である。

20

特に、本発明者等は、鋼の表面に純 Al および Al - Si 合金を付着させた後、850 ~ 1100 の高温拡散により、FeAl を中心とした、鉄リッチな金属間化合物層からなる被膜が得られる、高温アルミナライジング処理方法を見出している（例えば、非特許文献 1 参照）。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0003】

【非特許文献 1】Tomohiro Sasaki and Takao Yakou: Effects of Heat Treatment Conditions on Formation of Fe-Al Alloy Layer during High Temperature Aluminizing, ISIJ International, Vol. 47 (2007), No. 7, pp. 1016 - 1022

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、従来のアルミナライジング処理によって形成された被膜は、塩酸、硝酸、硫酸などに対しては極めて耐食性に劣る。そのため、その被膜が形成された鋼は、塩酸、硝酸、硫酸などによる腐食が生じる環境では使用できなかった。

40

## 【0005】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、金属間化合物 FeAl からなり、機械的特性のみならず、塩酸、硝酸、硫酸などに対する耐食性にも優れた耐食性材料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】

## 【0006】

本発明の耐食性材料は、クロムを含有する金属間化合物 FeAl からなることを特徴とする。

## 【0007】

前記クロムの含有量は、8 ~ 18 at % であることが好ましい。

50

## 【0008】

鋼または鋳鉄の表面に、アルミニウム、クロムおよび鉄からなる合金膜を成膜し、当該合金膜を高温拡散処理して、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  を形成させることが好ましい。

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明の耐食性材料によれば、オーステナイト系ステンレス鋼と同等またはそれ以上に、塩酸、硝酸、硫酸などに対する耐食性に優れたものとなる。したがって、本発明の耐食性材料によれば、ニッケルを使用することなく、ステンレス鋼と同等またはそれ以上に耐食性に優れた部品が安価に得られる。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0010】

【図1】  $Fe-Al$ 系平衡状態図である。

【図2】本発明の実験例において、酸化性の酸である硝酸 ( $HNO_3$ ) に対する耐食性を示すグラフである。

【図3】本発明の実験例において、非酸化性の酸である塩酸 ( $HCl$ ) に対する耐食性を示すグラフである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0011】

本発明の耐食性材料の実施の形態について説明する。

20

なお、この実施の形態は、発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。

## 【0012】

本発明の耐食性材料は、クロム ( $Cr$ ) を含有する金属間化合物  $FeAl$  からなるものである。

金属間化合物  $FeAl$  は、図1に示す  $Fe-Al$ 系平衡状態図 (U. R. Kattner and T. B. Massalski, P. R. Subramanian and L. Kacpzak: Binary Alloy Phase Diagrams, ASM International, Material Park, OH, p. 148 (1990) 参照) 上に示される  $Fe-Al$ 系合金、 $Fe$ 、 $Fe_3Al$ 、 $FeAl$ 、 $FeAl_2$  および  $Fe_2Al_5$  の群から選択される1つであり、これらの中で比較的靱性があり、実用の可能性があるのは、鉄リッチな  $Fe$ 、 $Fe_3Al$  および  $FeAl$  とされている。

30

## 【0013】

金属間化合物  $FeAl$  におけるクロムの含有量は、8 ~ 18 at% であることが好ましく、クロムが多くなると靱性が低下することから、より好ましくは12 ~ 14 at% である。

金属間化合物  $FeAl$  におけるクロムの含有量がこの範囲内であれば、本発明の耐食性材料は、塩酸や硝酸に対する耐食性に優れたものとなり、塩酸や硝酸によって、鉄 ( $Fe$ ) が溶出することを防止できる。

40

金属間化合物  $FeAl$  におけるクロムの含有量が8 at% 未満では、塩酸や硝酸に対する耐食性の向上が少ない。一方、金属間化合物  $FeAl$  におけるクロムの含有量が18 at% を超えると、それ以上の耐食性の向上が望めない。

## 【0014】

次に、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  の製造方法を説明する。

クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  は、例えば、鋼または鋳鉄の表面に、アルミニウム ( $Al$ )、クロムおよび鉄からなる合金膜を成膜し、その後、そのアルミニウム合金膜が成膜された鋼または鋳鉄を高温加熱することにより、そのアルミニウム合金膜を高温拡散処理して、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  を形成する。

これにより、アルミニウム合金膜を構成するアルミニウムとクロムが、鉄または鋳鉄内

50

に拡散し、鋼または鋳鉄の表面に、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  が形成される。すなわち、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  は、上記のようにして鋼または鋳鉄の表面に形成された金属間化合物  $FeAl$  の被膜である。

【0015】

鋼または鋳鉄の表面へのアルミニウム、クロムおよび鉄からなるアルミニウム合金膜の成膜方法としては、例えば、(1) 溶融した  $Al-Cr$  合金浴中に鋼または鋳鉄を浸漬し、鋼または鋳鉄の表面に  $Al-Cr$  合金を溶融めっきする方法、(2) 鋼または鋳鉄の表面に  $Al-Cr$  合金を溶射する方法、(3) 鋼または鋳鉄の表面に  $Al$  と  $Cr$  を真空蒸着する方法、(4) 鋼または鋳鉄の表面に  $Cr$  をめっきした後、溶融した  $Al$  浴中に、 $Cr$  をめっきした鋼または鋳鉄を浸漬し、 $Cr$  をめっきした鋼または鋳鉄の表面に  $Al$  を溶融めっきする方法などが挙げられる。

10

【0016】

また、金属間化合物  $FeAl$  におけるクロムの含有量を上記の範囲内とするには、上記のそれぞれのアルミニウム合金膜の成膜方法において、次のような操作を行う。

(1) の方法では、クロムの含有量が  $14 \sim 27 \text{ at} \%$  のアルミニウム合金をルツボで溶解し、その中に鋼または鋳鉄を浸漬して、溶融めっきを行う。

(2) の方法では、クロムの含有量が  $14 \sim 27 \text{ at} \%$  のアルミニウム合金を、鋼または鋳鉄の表面に溶射して、鋼または鋳鉄の表面にアルミニウム合金被膜を形成する。

(3) の方法では、クロムの膜厚を 1 にして、アルミニウムの膜厚が  $3 \sim 6$  の範囲で、鋼または鋳鉄の表面に真空蒸着を行う。

20

(4) の方法では、鋼または鋳鉄の表面に、クロムめっきを行った後、アルミニウム溶融めっきを行う。これらのめっきの順番は逆でもよい。このときのクロムめっきの厚さと、アルミニウムめっきの厚さとの比を  $1/3 \sim 1/6$  の範囲とする。

【0017】

アルミニウム合金膜の高温拡散処理を行う温度、すなわち、アルミニウム合金膜が成膜された鋼または鋳鉄を加熱する温度は、 $800 \sim 1200$  であることが好ましく、より好ましくは  $850 \sim 1050$  である。

アルミニウム合金膜の高温拡散処理の温度が  $800$  未満では、鋼または鋳鉄内にアルミニウム合金膜を構成するアルミニウムとクロムが十分に拡散しないため、拡散時間が短い場合にはクロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  を形成することができない。一方、アルミニウム合金膜の高温拡散処理の温度が  $1200$  を超えると、酸化が激しくなるのみならず、鋼の結晶粒の粗大化が起こり、材料が弱くなる。

30

【0018】

また、アルミニウム合金膜の高温拡散処理を行う時間、すなわち、アルミニウム合金膜が成膜された鋼または鋳鉄を加熱する時間は、 $0.5$  時間  $\sim$   $50$  時間であることが好ましく、より好ましくは  $1$  時間  $\sim$   $24$  時間である。

アルミニウム合金膜の高温拡散処理を行う時間が  $0.5$  時間未満では、鋼または鋳鉄内にアルミニウム合金膜を構成するアルミニウムとクロムが十分に拡散しないため、拡散温度が低い場合には、クロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  を形成することができない。一方、アルミニウム合金膜の高温拡散処理を行う時間が  $24$  時間を超えると、生産効率が低下し、かつ拡散温度が高い場合には、酸化や結晶粒の粗大化を招く。

40

【0019】

また、アルミニウム合金膜の高温拡散処理は、真空、あるいは、窒素ガス、アルゴンガスなどの不活性ガス中で行われることが好ましいが、大気中で行ってもよい。

【0020】

このアルミニウム合金膜の高温拡散処理により、最表面にはクロムを含有する金属間化合物  $FeAl$  からなる被膜が形成され、その内側、すなわち、金属間化合物  $FeAl$  からなる被膜と、鋼または鋳鉄との間に、 $Fe(Al, Cr)$  を含有する) からなる被膜が形成される。拡散を行うと、最表面から内部に向い、(1) アルミニウム、 $Fe_2Al_5$ 、 $FeAl$ 、 $Fe$  の順、(2)  $Fe_2Al_5$ 、 $FeAl$ 、 $Fe$  の順、(3)  $FeAl$ 、

50

Feの順、および(4) Feの順のいずれかが形成される。Fe<sub>3</sub>Alは存在するはずであるが、ほとんど認められない。

【0021】

このようにして形成された耐食性材料は、ステンレス鋼と同等またはそれ以上に、塩酸、硝酸、硫酸などに対する耐食性に優れている。したがって、本発明の耐食性材料によれば、ニッケルを使用することなく、ステンレス鋼と同等またはそれ以上に耐食性に優れた部品が安価に得られる。

【0022】

以下、実験例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実験例に限定されるものではない。

【0023】

「実験例1」

鋼の表面にアルミニウムを溶融めっきした後、厚さ50 μmのアルミニウム膜が成膜された鋼を、1000 で10時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-12at%Al (Fe) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムを含有していなかった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料1」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの硝酸(HNO<sub>3</sub>)水溶液中に、試料1を42時間、浸漬した。

次いで、硝酸水溶液から取り出した試料1を乾燥して、試料1の質量を測定した。

硝酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料1における鉄の溶出量( m、g・m<sup>-2</sup> )を算出した。その結果、鉄の溶出量は480 g・m<sup>-2</sup>であった。

【0024】

「実験例2」

鋼の表面にAl-Cr合金を溶融めっきした後、厚さ50 μmのAl-Cr膜が成膜された鋼を、1050 で24時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-12at%Al (Fe) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムの含有量が13at%であった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料2」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの硝酸(HNO<sub>3</sub>)水溶液中に、試料2を42時間、浸漬した。

次いで、硝酸水溶液から取り出した試料2を乾燥して、試料2の質量を測定した。

硝酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料2における鉄の溶出量( m、g・m<sup>-2</sup> )を算出した。その結果、鉄の溶出量は0 g・m<sup>-2</sup>であった。

【0025】

「実験例3」

鋼の表面にアルミニウムを溶融めっきした後、厚さ50 μmのアルミニウム膜が成膜された鋼を、1000 で5.5時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-45at%Al (FeAl) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムを含有していなかった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料3」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの硝酸(HNO<sub>3</sub>)水溶液中に、試料3を42時間、浸漬した。

次いで、硝酸水溶液から取り出した試料3を乾燥して、試料3の質量を測定した。

硝酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料3における鉄の溶出量( m、g・m<sup>-2</sup> )を算出した。その結果、鉄の溶出量は8 g・m<sup>-2</sup>であった。

【0026】

「実験例4」

鋼の表面にAl-Cr合金を溶融めっきした後、厚さ50 μmのAl-Cr膜が成膜された鋼を、1050 で10時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-45at%Al (FeAl) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムの含有量が13at%であった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料4」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの硝酸(HNO<sub>3</sub>)水溶液中に、試料4を42時間、浸漬した。

次いで、硝酸水溶液から取り出した試料4を乾燥して、試料4の質量を測定した。

硝酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料4における鉄の溶出量 ( $\text{m, g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を算出した。その結果、鉄の溶出量は  $0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。

【0027】

「実験例5」

鋼の表面にアルミニウムを溶融めっきした後、厚さ  $50 \mu\text{m}$  のアルミニウム膜が成膜された鋼を、1000 で10時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-12at%Al (Fe) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムを含有していなかった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料5」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの塩酸(HCl)水溶液中に、試料5を42時間、浸漬した。

次いで、塩酸水溶液から取り出した試料5を乾燥して、試料5の質量を測定した。

塩酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料5における鉄の溶出量 ( $\text{m, g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を算出した。その結果、鉄の溶出量は  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。

【0028】

「実験例6」

鋼の表面にAl-Cr合金を溶融めっきした後、厚さ  $50 \mu\text{m}$  のAl-Cr膜が成膜された鋼を、1050 で24時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-12at%Al (Fe) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムの含有量が13at%であった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料6」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの塩酸(HCl)水溶液中に、試料6を42時間、浸漬した。

次いで、塩酸水溶液から取り出した試料6を乾燥して、試料6の質量を測定した。

塩酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料6における鉄の溶出量 ( $\text{m, g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を算出した。その結果、鉄の溶出量は  $380 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。

【0029】

「実験例7」

鋼の表面にアルミニウムを溶融めっきした後、厚さ  $50 \mu\text{m}$  のアルミニウム膜が成膜された鋼を、1000 で5.5時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-45at%Al (FeAl) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムを含有していなかった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料7」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの塩酸(HCl)水溶液中に、試料7を42時間、浸漬した。

次いで、塩酸水溶液から取り出した試料7を乾燥して、試料7の質量を測定した。

塩酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料7における鉄の溶出量 ( $\text{m, g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を算出した。その結果、鉄の溶出量は  $1300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。

【0030】

「実験例8」

鋼の表面にAl-Cr合金を溶融めっきした後、厚さ  $50 \mu\text{m}$  のAl-Cr合金膜が成膜された鋼を、1050 で10時間、加熱して、鋼の表面に、Fe-45at%Al (FeAl) からなる被膜を形成した。なお、この被膜は、クロムの含有量が13at%であった。

次いで、上記の被膜が形成された鋼(以下、「試料8」と言う。)の質量を測定した。

次いで、0.1Mの塩酸(HCl)水溶液中に、試料8を42時間、浸漬した。

次いで、塩酸水溶液から取り出した試料8を乾燥して、試料8の質量を測定した。

塩酸水溶液に浸漬する前と、浸漬した後との質量の差異から、試料8における鉄の溶出量 ( $\text{m, g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を算出した。その結果、鉄の溶出量は  $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。

【0031】

10

20

30

40

50

以上の結果を、図2および図3に示す。

図2および図3の結果から、Fe-12at%Al(αFe)からなる金属間化合物では、クロムの含有量が13at%以上で、硝酸に対する耐食性を示すが、塩酸に対する耐食性は悪くなることが分かった。

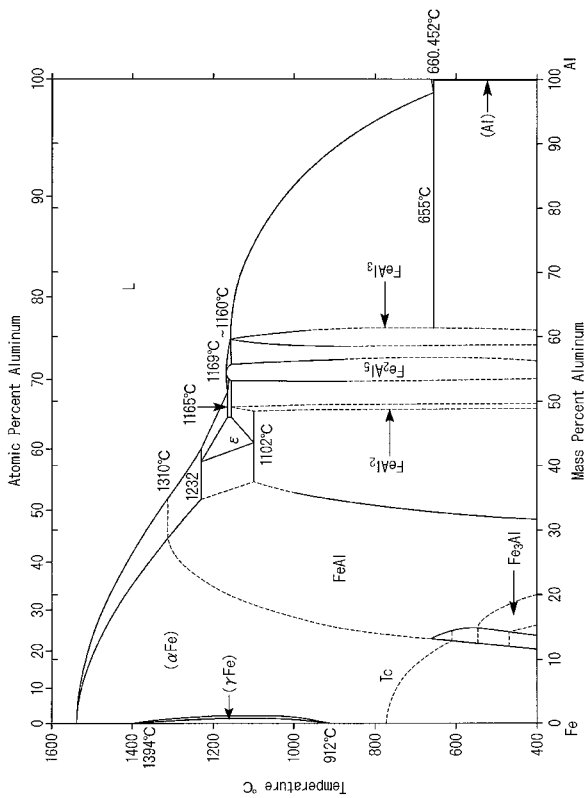
ところが、Fe-45at%Al(FeAl)からなる金属間化合物では、クロムの含有量が13at%以上で、硝酸に対しても、塩酸に対しても耐食性が大きく改善されることが分かった。

【産業上の利用可能性】

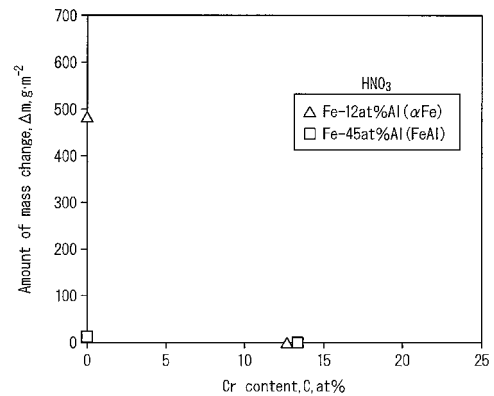
【0032】

本発明の耐食性材料は、大気や海水雰囲気、に曝される機械部品のみならず、塩酸雰囲気、の機械部品に対しても、SUS316の代りに使用することができる。

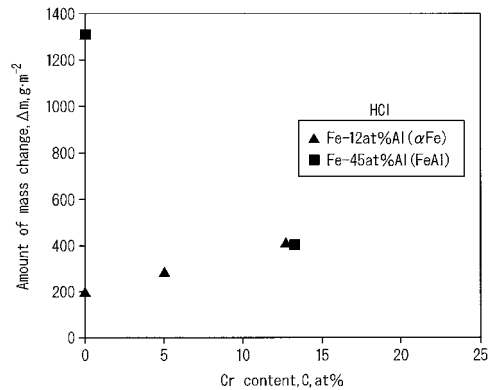
【図1】



【図2】



【図3】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100108453

弁理士 村山 靖彦

(72)発明者 八高 隆雄

神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内

Fターム(参考) 4K028 CA01 CA02 CB04 CB05 CB06 CC02 CD01