

(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2018-94573

(P2018-94573A)

(43) 公開日 平成30年6月21日(2018.6.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 1 B 39/00 (2006.01)	B 2 1 B 39/00	F
B 2 1 B 39/12 (2006.01)	B 2 1 B 39/12	C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-239493 (P2016-239493)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成28年12月9日 (2016. 12. 9)		新日鐵住金株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100175802
			弁理士 寺本 光生
		(74) 代理人	100106909
			弁理士 棚井 澄雄
		(74) 代理人	100134359
			弁理士 勝俣 智夫
		(74) 代理人	100188592
			弁理士 山口 洋

最終頁に続く

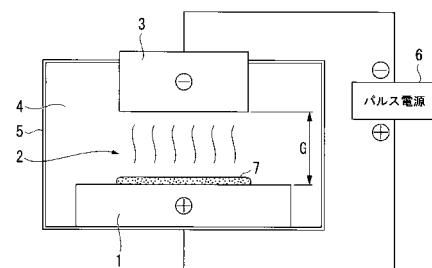
(54) 【発明の名称】 放電処理皮膜の形成方法

(57) 【要約】

【課題】油中での放電処理によって被処理材の表面に硬質皮膜を形成するにあたり、適度な硬さを有しかつ低コストで厚い硬質皮膜を形成し得る方法を提供する。

【解決手段】電極として、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Ni及びCrのうちのいずれか1種又は2種を合計で55質量%以下(0%を含む)含有し、しかもFe、Ni、Crのそれぞれの含有量についてFe Ni及びFe Crの関係が成立し、残部が不可避の不純物からなる鉄基材料を用い、油中において前記電極と被処理材との間にパルス電圧を加えて、その間にパルス放電を生起させ、これにより、前記鉄基材料に由来する成分と前記油の分解により生じた炭素との反応によって、鉄炭化物を主体とする皮膜を被処理材の表面に形成する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電極として、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Ni及びCrのうちのいずれか1種又は2種を合計で55質量%以下(0%を含む)含有し、しかもFe、Ni、Crのそれぞれの含有量についてFe-Ni及びFe-Crの関係が成立し、残部が不可避免的不純物からなる鉄基材料を用い、

油中において前記電極と被処理材との間にパルス電圧を加えて、その間にパルス放電を生起させ、これにより、前記鉄基材料に由来する成分と前記油の分解により生じた炭素との反応によって、鉄炭化物を含む皮膜を被処理材の表面に形成することを特徴とする放電処理皮膜の形成方法。

10

【請求項 2】

請求項1に記載の放電処理皮膜の形成方法において、

前記電極と被処理材との間にパルス放電を生起させるにあたり、電極と被処理材との間に加えるパルス電圧のパルス幅を、250～10000μsの範囲内とすることを特徴とする放電処理皮膜の形成方法。

【請求項 3】

請求項1、請求項2のいずれかの請求項に記載の放電処理皮膜の形成方法において、

前記パルス状放電によって形成される皮膜の硬さが平均でHv600～1300であることを特徴とする放電処理皮膜の形成方法。

【請求項 4】

20

請求項1～請求項3のいずれかの請求項に記載の放電処理皮膜の形成方法において、

前記パルス状放電によって形成される皮膜の厚みが、平均で20～200μmの範囲内であることを特徴とする放電処理皮膜の形成方法。

【請求項 5】

請求項1～請求項4のいずれかの請求項に記載の放電処理皮膜の形成方法において、

前記電極の鉄基材料として、さらにMo、Ti、Nb、Alのうちの1種又は2種以上を合計で0.1～5.0質量%含有する材料を用いることを特徴とする放電処理皮膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】**【0001】**

本発明は、熱間圧延工場におけるホットランテーブルローラーなど、主として相手材と擦れ合う部材を被処理材とし、その表面に硬質な皮膜を形成する技術に関するものであり、とりわけ油中でのパルス放電によって被処理材の表面に硬質な皮膜を形成する方法に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

例えば熱間圧延工場のホットランテーブルは、熱間仕上圧延機を出た熱延ストリップを巻取機まで高速でフィードする設備であって、一般には熱延後の冷却帯を兼ねている。このようなホットランテーブルは、多数のローラーを平行に配列した構成とされており、そのローラーには高速で走行する熱延ストリップが接触して擦れ合うことになる。そこでこの種のローラーには、耐摩耗性が良好であることが望まれる。一般にこの種のローラーとしては、基材として鋼材が使用され、その鋼基材の表面に、耐摩耗性を向上させるための処理、例えば13%Cr鋼の肉盛処理やNi基白溶合金の溶射及び再溶融処理などを施すことが行われている。

40

【0003】

ところで、耐摩耗性を向上させるための表面処理としては、従来から種々の処理方法が知られているが、その一つとして、例えば特許文献1に示されているように、油中での高電圧印加による放電を利用して、基材(表面処理対象の被処理材)表面に硬質な炭化物を

50

主体とする皮膜（放電処理皮膜）を形成する方法が提案されている。

【0004】

すなわち特許文献1では、炭化物を作りやすいW、Ti、V、Ta、Nbからなる電極を用い、Cを多く含有する加工液（代表的には油）の中で、電極と被処理材との間に放電を生起させ、電極構成材料であるWやTi等の熔融金属を、加工液（油）の分解により生じた炭素と反応させて炭化物（WC、TiC等）を生成させ、その炭化物を被処理材の表面に堆積させて、硬質皮膜を形成することが提案されている。

【0005】

なお、放電を利用して硬質皮膜を被処理材の表面に形成する点で、特許文献1の方法に若干類似する表面処理方法が特許文献2で提案されている。

すなわち特許文献2では、IVa族（Ti、Zr）、Va族（V、Nb、Ta）またはVIa族（Cr、Mo、W）の高融点化合物（例えば炭化物、窒化物など）と、結合金属としての鉄系金属とからなる混合粉末の成形体からなる電極を用い、液中で電極と被処理材との間で放電させ、電極構成材料である炭化物、窒化物などの高融点化合物と鉄系金属の結合金属とからなる皮膜を被処理材の表面に形成する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平9-19829号公報

【特許文献2】特開2001-138141号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1で提案されているように、炭素（C）を含む液中、例えば油中において、炭化物を生成しやすいW、Ti、V、Ta、Nbからなる金属電極と被処理材との間に放電を生起させれば、放電エネルギーによって電極から熔融したW、Ti等の微小液滴と、油の熱分解によって生じた炭素とが反応して、WC、TiC等の炭化物が生成され、その炭化物が被処理材表面に堆積され、最終的に被処理材の表面にこれらの炭化物からなる硬質な皮膜が生成される。そしてこのような硬質皮膜によって被処理材表面に耐摩耗性を付与することができる。

【0008】

しかしながら特許文献1に示されている技術では、次のようないくつかの問題がある。

すなわち、特許文献1の技術では電極材としてW、Ti、V、Ta、Nbを用いており、これらの電極構成材料が炭素と反応して生成される炭化物は、著しく硬質であり、被処理材表面に形成される皮膜の硬さもHv1500～3000程度と著しく高くなる。

このように著しく硬質であることは、被処理材の耐摩耗性の顕著な向上には、確かに有効である。しかしながら、前述のような鋼板の熱間圧延工場におけるホットランテーブルのローラーに特許文献1の方法を適用した場合、ローラー表面に形成される皮膜が硬すぎるため、熱間仕上圧延機から巻取機に向けて高速でフィードされる熱延鋼板ストリップが、ローラーと高速で接触した際に傷ついてしまうことがある。

【0009】

また特許文献1の方法で形成される硬質皮膜は、その厚みを厚くしようとしても、20μm程度以上の厚膜を形成することは困難であり、ホットランテーブルローラーのような用途では皮膜が薄すぎて十分な耐摩耗性の持続性を確保することは、実際上は困難であった。

【0010】

さらに、特許文献1の提案では、炭化物を作りやすいW、Ti、V、Ta、Nbを電極材料として用いているが、これらの金属は、いずれも高価であり、そのため特許文献1の技術を実際に適用しようとした場合、高コストとならざるを得ない。特に皮膜を厚肉に形成しようとした場合や、ホットランテーブルローラーのように多数の被処理材に適用しよ

10

20

30

40

50

うとした場合には、高価なこれらの金属を多量に消費するため、著しい高コスト化を招き、実際的ではない。

【 0 0 1 1 】

なお特許文献 2 に示される方法は、電極から溶融した溶融物と油中での炭素との反応により炭化物を生成して被処理材表面にその反応生成物を堆積させることを主眼としたものではなく、電極材料自体に炭化物や窒化物を用いて、それを被処理材表面に堆積させるものであるから、本発明で前提としている技術とは基本的に異なる。

このように電極材料自体に炭化物や窒化物を用いて、それを被処理材表面に堆積させる方法では、電極から溶融した溶融物と油中での炭素との反応により炭化物を生成して被処理材表面にその反応生成物を堆積させる方法と比較して、炭化物や窒化物を用いた電極材料が、金属を用いた電極材料に比べて高融点であるため、電極の溶融量が少なく、反応生成物の堆積速度が小さいなどの問題がある。

10

【 0 0 1 2 】

本発明は以上の事情を背景としてなされたもので、油中での放電処理によって被処理材の表面に硬質皮膜を形成するにあたり、適度な硬さを有しかつ低コストで厚い硬質皮膜を形成し得る方法を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

上述の課題を解決するために本発明者等が種々実験・検討を重ねたところ、油中での放電処理によって被処理材の表面に硬質皮膜を形成するにあたり、電極として、例えばオーステナイト系ステンレス鋼のような、比較的安価な鉄基材料を用いた場合でも、適度に高い硬さを有している硬質皮膜を、厚く生成することができること、そしてこの場合、相手材と擦れ合うような用途に適用しても、相手材を傷つけたり、摩耗させたりしてしまうおそれが少なくなることを知見した。言い換えれば、耐摩耗性を発揮し得る程度には高硬度ではあるが、比較的軟質な相手材を傷つけてしまうような過剰な高硬度ではない、Hv 600 ~ 1300 程度の適度な高硬度を有する皮膜を厚膜に形成し得ることを見出した。

20

一例としては、例えばホットランテーブルにおいて一般的に使用されている、13% Cr 鋼を肉盛したローラー表面の硬さ (Hv 300 程度) や、Ni 基自溶合金を溶射及び再溶融処理したローラー表面の硬さ (Hv 350 程度) と比べれば、Hv 600 以上と格段に高硬度が得られるため、耐摩耗性を向上させることが可能となり、同時に、Hv 1300 以下であれば、相手材である熱延ストリップ鋼帯を傷つけるおそれも少なくなるのである。

30

【 0 0 1 4 】

したがって、本発明の基本的な態様 (第 1 の態様) の放電処理皮膜の形成方法は、

電極として、Fe を 45 質量 % 以上 (100 % 含む) 含有し、Ni 及び Cr のうちのいずれか 1 種又は 2 種を合計で 55 質量 % 以下 (0 % を含む) 含有し、しかも Fe、Ni、Cr のそれぞれの含有量について Fe - Ni 及び Fe - Cr の関係が成立し、残部が不可避免的な不純物からなる鉄基材料を用い、

油中において前記電極と被処理材との間にパルス電圧を加えて、その間にパルス放電を生起させ、これにより、前記鉄基材料に由来する成分と前記油の分解により生じた炭素との反応によって、鉄炭化物を含む皮膜を被処理材の表面に形成することを特徴とするものである。

40

【 0 0 1 5 】

また本発明の第 2 の態様の放電処理皮膜の形成方法は、前記第 1 の態様において、

前記電極と被処理材との間にパルス放電を生起させるにあたり、電極と被処理材との間に加えるパルス電圧のパルス幅を、250 ~ 10000 μ s の範囲内とすることを特徴とするものである。

【 0 0 1 6 】

さらに本発明の第 3 の態様の放電処理皮膜の形成方法は、前記第 1 もしくは第 2 の態様において、

50

前記放電によって形成される皮膜の硬さが平均で $H_v 600 \sim 1300$ であることを特徴とするものである。

【0017】

また本発明の第4の態様の放電処理皮膜の形成方法は、前記第1～第3のいずれかの態様において、

前記放電によって形成される皮膜の厚みが、平均で $20 \sim 200 \mu m$ の範囲内であることを特徴とするものである。

【0018】

さらに本発明の第5の態様の放電処理皮膜の形成方法は、前記第1～第4のいずれかの態様において、

前記電極の鉄基材料として、さらに Mo 、 Ti 、 Nb 、 Al のうちの1種又は2種以上を合計で $0.1 \sim 5.0$ 質量%含有する材料を用いることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、油中でのパルス放電による処理によって被処理材の表面に硬質皮膜を形成するにあたり、適度な硬さを有しかつ厚い硬質皮膜を、低コストで容易に形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の方法を原理的に説明するための模式図である。

【図2】本発明の方法の実施形態として、パルス放電における放電電圧波形を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下に、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0022】

本発明法を実施している状況の一例を原理的に図1に示す。

図1において、鋼材など導電性を有する被処理材1に対して、空間（隙間）2を置いて電極3を対向させる。この電極3としては、本発明法では、後に詳細に説明するように、鉄（ Fe ）を主体とする材料、すなわち鉄基材料を用いる。

そして少なくとも被処理材1と電極3との対向空間（隙間）2が処理油4によって満たされるように、例えば容器5内において処理油4中に浸漬させる。そしてパルス電源6によって、電極3と被処理材1との間にパルス電圧を印加し、対向空間2にパルス放電を生起させる。なお本実施形態では、電極3が負極（-極）、被処理材1が正極（+極）となるように電圧を印加することとしている。

【0023】

上記のようにして電極3と被処理材1との間にパルス電圧を印加してパルス放電を生起させれば、その放電エネルギーによって鉄基材料からなる電極3の表面が溶融し、同時に処理油が分解して炭素（ C ）が生じる。そして電極の溶融物である Fe と上記の炭素が反応して鉄の炭化物が生成され、また後述するように電極として Cr などを含む鉄基材料を用いている場合には、 Cr などの炭化物が生成されることもある。

【0024】

このようにして生成された炭化物は、被処理材1の表面に堆積され、皮膜（放電処理皮膜）7が生成される。なお炭化物とともに、炭化していない Fe などの金属成分の溶融物も被処理材表面に付着するから、炭化物は、被処理材表面においてこれらの金属成分によって結合されて強固な皮膜を形成することになる。

【0025】

電極の構成材料としては、鉄（ Fe ）を主成分とする鉄基材料を用いる。すなわち、 Fe を45質量%以上（100%含む）含有し、 Ni 及び Cr のうちのいずれか1種又は2種を合計で55質量%以下（0%を含む）含有し、しかも Fe 、 Ni 、 Cr のそれぞれの

10

20

30

40

50

含有量についてFe-Ni及びFe-Crの関係が成立し、残部が不可避的不純物からなる鉄基材料、あるいは上記のNi、Crのいずれか一方又は双方のほか、さらに必要に応じてMo、Ti、Nb、Alのうちの1種又は2種以上を合計で0.1~5.0質量%含有する鉄基材料を用いる。

このように、鉄基材料を用いた場合でも、後述する実験例で示すように、油中でのパルス放電によって鉄炭化物を含むHv600以上の硬質な皮膜を20μm以上の十分な厚みで形成し得ることが判明している。

【0026】

ここで、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Ni及びCrのうちのいずれか1種又は2種を合計で55質量%以下(0%を含む)含有し、Fe、Ni、Crのそれぞれの含有量についてFe-Ni及びFe-Crの関係が成立する鉄基材料としては、次のようなものがある。

10

【0027】

すなわち、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Cr、Niの両者を合計で55%以下含有し、Fe、Ni、Crのそれぞれの含有量についてFe-Ni及びFe-Crの関係が成立する合金鋼として、例えばSUS304(18Cr-8Ni鋼)やSUS310(25Cr-20Ni鋼)で代表されるいわゆるオーステナイト系ステンレス鋼、そのほか、SNC631(2.7Ni-0.8Cr鋼)、SNC415(2.2Ni-0.3Cr鋼)で代表されるいわゆるニッケルクロム鋼などがある。

【0028】

20

またNiを実質的に含まず、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Crを55%以下含有し、Fe、Crの含有量についてFe-Crの関係が成立する合金鋼として、例えばSUS430鋼(18Cr鋼)やSUS410(13Cr鋼)で代表されるいわゆるフェライト系ステンレス鋼、そのほか、SCr440(1.0Cr鋼)で代表されるいわゆるクロム鋼などがある。

【0029】

またCrを実質的に含まず、Feを45質量%以上(100%含む)含有し、Niを55%以下含有し、Fe、Niの含有量についてFe-Niの関係が成立する合金鋼として、例えばインバー合金(36Ni鋼)、42アロイ(42Ni鋼)などがある。

【0030】

30

さらにNi、Crを実質的に含有しない鉄基材料として、いわゆる普通鋼や純鉄がある。

【0031】

そのほか、Ni、Crのいずれか一方又は双方のほか、さらにMo、Nb、Ti、Alのうちの1種又は2種以上を合計で0.1~5.0質量%含有する鉄基材料としては、たとえばMoを含有する鋼として、SUS316(18Cr-12Ni-2.5Mo鋼)、SUS317J1(18Cr-16Ni-5.0Mo鋼)、またTiを含有する鋼としてSUH409(11Cr-0.2Ti鋼)、Nbを含有する鋼としてSUS347(18Cr-9Ni-0.5Nb鋼)、Alを含有する鋼としてSUS631(18Cr-7Ni-1.0Al鋼)、Ti及びAlを含有する鋼としてNCF800(32.5Ni-21Cr-0.4Ti-0.4Al鋼)などがある。

40

【0032】

以上のような電極構成材料である鉄基材料において、Ni、Crのいずれか一方又は双方を含む場合には、皮膜にNiもしくはCrを含むため、皮膜の耐食性が向上する効果が得られる。なお、電極の鉄基材料にCrが含まれる場合、油中でのパルス放電によってCr炭化物も生成され、皮膜の硬さ向上に寄与するが、炭化物を形成しなかったCrは、炭化物の結合金属として機能する。また電極の鉄基材料にNiが含まれる場合、Niは炭化物を生成しにくいため、そのほとんどは炭化物とならずに皮膜中に取り込まれ、炭化物の結合金属として機能する。

【0033】

50

ここで、Feを45質量%以上とし、Ni及びCrのうちのいずれか1種又は2種を55質量%以下(0%を含む)に制限し、Fe、Ni、Crのそれぞれの含有量についてFeNi及びFeCrの関係が成立するという条件を満足しなければ、その分、Fe含有量が少なくなると、油中パルス法での鉄炭化物の生成量が少なくなり、皮膜中の鉄炭化物も少なくなり、適度の硬さ(Hv600~1300)を有する皮膜を形成することが困難となる。また、Ni、CrのうちでもCr量が多ければ、Cr炭化物が多くなって、皮膜硬さがHv1300を超える過度の高硬度となってしまうおそれがあり、そこで必要以上にCr含有量は高くしないことが望ましい。一方、Ni、CrのうちNi量が多くても、Ni炭化物はほとんど生成されないが、上記のようにFe炭化物の生成量の減少により、Hv600以上の硬度を確保しにくくなるから、Ni含有量も必要以上に高くしないことが望ましい。

10

【0034】

さらに、電極の鉄基材料として、Ni、Crのいずれか一方又は双方のほか、Mo、Ti、Nb、Alのうちの1種又は2種以上を含有する合金鋼を使用する場合、それらの合計含有量が5.0質量%を超えれば、皮膜硬さがHv1300を超える過度の高硬度となるおそれがあるから、これらの合計含有量は5.0質量%以下に抑えることとする。

なお、これらの選択元素のうちMoは、Mo炭化物の形成により皮膜を高硬度化させる効果があり、Moを添加する場合のMo量は、0.1~5.0質量%の範囲内とすることが好ましい。

またTiは、Ti炭化物の形成により皮膜を高硬度化させる効果があり、Tiを添加する場合のTi量は、0.1~1.0質量%の範囲内とすることが好ましい。

20

またNbは、Nb炭化物の形成により皮膜を高硬度化させる効果があり、Nbを添加する場合のNb量は、0.1~1.0質量%の範囲内とすることが好ましい。

さらにAlは、Alを含む硬質な金属間化合物の形成により皮膜を高硬度化させる効果があり、Alを添加する場合のAl量は、0.1~1.5質量%の範囲内とすることが好ましい。

【0035】

なお電極の製造方法は特に限定されるものではなく、通常溶解・鋳造法を適用して得られた溶製材に、適宜成形加工や機械加工を施して製造してもよく、あるいは粉末冶金法により粉末を焼結して製造してもよい。すなわち電極材は、いわゆるバルク材であっても、焼結材料であってもよい。

30

【0036】

パルス放電は、油(処理油)中で行う。油は、種々の炭化水素からなるものであって、その構成元素として炭素を多量に含んでいる。そのため、前述のようにパルス放電時のエネルギーによって炭化水素が分解することによって、油中で炭素が遊離され、その炭素が電極材料の溶融物である鉄などと反応して、炭化物を生成するために寄与する。

ここで、処理油としては、従来から放電加工に広く使用されている一般的な放電加工油、例えば鉱油、ノルマルパラフィン、イソパラフィンなどの炭化水素油を主体とする油などを用いればよい。

【0037】

なお図1においては、処理油4を容器5内に充填させることによって、被処理材1と電極3との対向空間(隙間)2が処理油4によって満たされるようにしているが、隙間2の間隔Gは1500μm以下の極く狭い空間であるから、その隙間2の一端側から処理油を隙間2内に供給するようにしてもよい。

40

【0038】

パルス放電の電圧は、要は電極3と被処理材1との間の隙間2に放電が生起されるように、隙間2の間隔Gに応じて定めれば良い。ここで、隙間2の間隔Gは、一般に50~1000μm程度が好ましく、その場合、放電のための印加電圧は30~300V程度とすればよい。

【0039】

50

パルス放電のためのパルス電圧波形を、図 2 に模式的に示す。

パルス放電では、電極と被処理材との間に電圧を加えて放電が生じている期間（放電期間；以下“パルス期間”と称する） T_p と、電圧を加えずに放電が休止している期間（以下“休止期間”と称する） T_o とが交互に繰り返されることになる。

ここで、休止期間 T_o を挟まない連続直流電圧印加でも放電を生起させることは可能であるが、パルス放電であれば、連続直流電圧印加の場合よりも、均一な膜厚の皮膜を安定して生成することができ、また同時に皮膜の割れが生じにくくなって、健全な皮膜を生成し得ることが確認されている。

その理由は必ずしも明確ではないが、パルス放電によれば、休止期間を放電期間の間に挟むことによって、休止期間中に、溶融状態で被処理材表面に付着した皮膜生成物質（主として鉄炭化物）が平滑化されること、また被処理材の温度が過度に上昇することが回避されて、基材の熱歪みによって皮膜に割れが生じることが回避されることが原因ではないかと考えられる。

【0040】

ここで、パルス放電におけるパルス幅（パルス期間 T_p の幅） WT_p は、 $250 \sim 10000 \mu s$ の範囲内とすることが望ましい。これは、本発明者等が、パルス幅 WT_p が皮膜厚に及ぼす影響を調べる実験を行った結果から新規に知見したことである。そこで次にその知見のもととなった実験の概要を説明する。

【0041】

電極として鉄基材料を用いての油中パルス放電におけるパルス幅 WT_p が皮膜厚及び皮膜硬度に及ぼす影響を、次のようにして調べた。

すなわち、電極としてオーステナイト系ステンレス鋼である SUS 316 の焼結体からなる電極を用い、表 1 に示すパルス幅および休止時間の放電条件（パルス幅と休止期間との比率は、1 で一定とした）で、40 分間の油中パルス放電により、被処理材である普通鋼板（SS 400 材、 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm t}$ ）の表面に皮膜を形成させる実験を行ない、生成された皮膜の厚み及び硬さを調べた。その結果を表 1 中に示す。なお表 1 において、No. 1 の放電条件は、被処理材の表面をダル加工するために従来から適用されている放電加工（すなわち被処理材表面に皮膜を生成することを目的としない放電加工）で一般に適用されている条件の、正極（+ 極）と負極（- 極）を逆転した条件である。

【0042】

【表 1】

条件	パルス幅 μs	休止時間 μs	平均膜厚 μm	平均硬さ Hv	備考
No. 1	16	16	10	684	ダル加工条件
No. 2	256	256	20	709	-
No. 3	2048	2048	40	716	-
No. 4	7643	7643	60	703	-

【0043】

その結果、表 1 から明らかなようにパルス幅が大きくなるほど、皮膜の膜厚は増大し、いずれの条件でも基材の硬度（Hv 140 程度）を大幅に上回る Hv 700 程度の皮膜硬度を示すことが確認された。

なお、生成された皮膜について X 線回折により回折パターンを調べたところ、鉄の炭化物である Fe_3C を主体とし、さらにクロム（Cr）の炭化物である $Cr_{23}C_6$ を含んでいることが確認された。またこれらの炭化物が、炭化されていない Fe、Cr、Ni に

よって結合されて、強固な膜となっていることが確認された。

【0044】

上述のように、パルス幅が大きいほど、皮膜の厚みが大きくなることが、確認されている。ここで、パルス幅が $250\mu s$ 未満では、ホットランテーブルローラーなどとして十分な耐摩耗性、耐久性を示すために望まれる厚み（望ましくは $20\sim 200\mu m$ の厚み）の皮膜を形成することが困難となる。一方 $10000\mu s$ を越えれば、皮膜に割れが発生しずくなるおそれがある。そこでパルス幅は、 $250\sim 10000\mu s$ の範囲内が好ましく、特に $500\sim 8000\mu s$ の範囲内がより望ましい。

【0045】

ここで、パルス放電における休止期間 T_o の長さ WT_o は、皮膜の厚みおよび硬度にさほど影響を与えないことが本発明者等の実験により確認されている。したがって休止期間 T_o の長さ WT_o は適宜設定すればよいが、通常は、パルス幅 WT_p と同様に $250\sim 10000\mu s$ の範囲内とすれば良く、またパルス幅 WT_p と休止期間 T_o の長さ WT_o との比（デューティ比）も特に限定されず、実験例と同様に、デューティ比＝1であってかまわない。

10

【0046】

さらに、パルス放電開始から終了までのパルスが加わっている間の合計時間、すなわち合計通電時間は特に限定しないが、 $20\mu m$ 以上の膜厚を得るためには、通常は1分以上が好ましい。また30分を超えて長時間化しても、それ以上は膜厚の増大は少ないから、通常は30分以下とすることが好ましい。

20

【0047】

なお、パルス放電におけるピーク電流は、被膜厚、皮膜硬度に大きな影響を与えないことが確認されているが、通常は $2\sim 30A$ 程度とすることが好ましい。

【0048】

最終的に得る皮膜の厚みは、 $20\sim 200\mu m$ の範囲内であることが望ましい。皮膜の厚みが $20\mu m$ 未満では、熱間圧延工場のホットランテーブルのローラー等の用途において皮膜の十分な耐摩耗性の持続性を得ることが困難となるおそれがある。一方皮膜の厚みが $200\mu m$ を越えるような厚膜をパルス放電による皮膜形成処理によって得ようとするれば、皮膜に割れが発生しやすくなる。そこで皮膜の厚みは、 $20\sim 200\mu m$ の範囲内とすることが好ましい。なお前述のように、パルス放電による皮膜形成処理では、被膜厚はパルス幅に依存するから、パルス幅を制御することによって、被膜厚を上記の範囲内となるように調整することができる。

30

【0049】

また最終的に得る皮膜の硬さは、 $Hv600\sim 1300$ の範囲内であることが好ましい。

皮膜の硬さが $Hv600$ 未満では、ホットランテーブルのローラー等の用途において、耐摩耗性を向上させる効果が十分に得られない。一方皮膜の硬さが $Hv1300$ を越えれば、ホットランテーブルのローラー等の用途において相手材（例えば熱延ストリップ等の製品）を傷つけることがある。したがって、最終的に得る皮膜の硬さは、 $Hv600\sim 1300$ の範囲内とすることが好ましい。なお本発明法では、炭化物として主として鉄炭化物を生成させることとしており、このような鉄炭化物は、特許文献1の場合のような TiC や WC よりも硬度は低く、そのため本発明法で形成した皮膜の硬さも、 TiC や WC を主体とする炭化物で形成した皮膜よりも低い $Hv1300$ 以下とすることができ、相手材を傷つけるおそれを少なくすることができるのである。またこのように TiC や WC を主体とする炭化物で形成した皮膜よりも低い硬さであっても、 $Hv600$ 以上であれば、実用上十分な皮膜耐久性を確保することができるのである。

40

【0050】

本発明の皮膜形成方法が適用される対象となる部材（被処理材）は、特に限定されるものではなく、ホットランテーブルのローラーのほか、例えば加熱炉と熱間圧延機の間、2基の熱間圧延機の間などの搬送用テーブルローラー、ダウンコイラーのピンチロールやラ

50

ッパーロール、サイドガイド、ライナープレート、製鋼工場の連続鑄造ロールなどに適用することができる。ここで、本発明の皮膜形成方法は、特に相手材が鋼材（普通鋼のほか、ステンレス鋼、Cr鋼、Cr-Mo鋼等の合金鋼を含む）であって、高速で走行もしくは回転する部材である場合に好適に適用することができる。また、被処理材の形状も特に限定されるものではなく、円筒状もしくは円柱状の部材、あるいは板状の部材など、適宜の形状の部材に適用することができる。

【実施例】

【0051】

本発明の作用・効果を検証するため、以下の実施例に示す実験を行った。

【0052】

10

〔実施例1〕

表2中に示す各種の鉄基材料からなる電極を用い、普通鋼板（SS400材）からなる板状の被処理材（寸法は50mm×50mm×4.5mm）の板面に、電極を負極、被処理材を正極として、表2に示すパルス幅、休止時間、ピーク電流の放電条件（パルス幅W_{Tp}と休止期間W_{To}との比率は1）で、40分間の油中でのパルス放電を行って、被処理材の表面に皮膜を形成した。そして各皮膜の平均膜厚、平均硬さを調べ、さらに皮膜の割れ発生の有無を調べた。なお、電極と被処理材との間の隙間の間隔は、いずれの場合も400μmとし、パルス放電の電圧は80Vとした。また処理油としては、一般的な放電加工用の油であるパラフィン系炭化水素油を用いた。皮膜硬さはビッカース硬さ計を用いて、皮膜と基材の鋼板との界面から10μmだけ皮膜表面側の位置において、均一間隔で5点測定し、その平均を皮膜硬さとした。

20

その結果を表2中に示す。

【0053】

【表 2】

	電極材質 名称	電極成分 質量%	ピーク電流値 A	パルス幅 μ s	休止時間 μ s	平均膜厚 μ m	皮膜硬さ Hv	割れの 有無
例1	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	250	250	20	1000	無
例2	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	2000	2000	40	1000	無
例3	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	7500	7500	60	1000	無
例4	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	10000	10000	90	1000	無
例5	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	7500	20	60	1000	無
例6	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	7500	250	60	1000	無
例7	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	7500	2000	60	1000	無
例8	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	7500	10000	60	1000	無
例9	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	2	7500	7500	60	1000	無
例10	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	30	7500	7500	60	1000	無
例11	Fe	100Fe	17	7500	7500	70	900	無
例12	SUS430	18Cr-Fe Bal.	17	7500	7500	60	1200	無
例13	SUS316	18Cr-12Ni-2.5Mo-Fe Bal.	17	7500	7500	65	1050	無
例14	SUS317J1	18Cr-16Ni-5.0Mo-Fe Bal.	17	7500	7500	70	1100	無
例15	SUS347	18Cr-9Ni-0.5Nb-Fe Bal.	17	7500	7500	60	1150	無
例16	NCF800	32.5Ni-21Cr-0.4Al-0.4Ti-Fe Bal.	17	7500	7500	140	800	無
例17	Fe-Ni合金	50Fe-50Ni	17	7500	7500	190	600	無
例18	Fe-Cr合金	50Fe-50Cr	17	7500	7500	200	1300	無
例19	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	100	100	10	1000	無
例20	SUS304	18Cr-8Ni-Fe Bal.	17	12500	12500	115	1000	有(軽微)

表 2 から明らかなようにパルス幅が大きくなるほど皮膜の膜厚は増大し、パルス幅が $250 \sim 1000 \mu s$ の範囲内では、膜厚が $20 \sim 200 \mu m$ の範囲内で、硬さが $Hv600 \sim 1300$ の範囲内の、割れの無い健全な皮膜が得られることが確認された。また、表 2 に示す結果から、パルス放電条件のうち、ピーク電流値、および休止期間は、皮膜の膜厚、硬さに実質的に影響を与えないことが確認された。

【0055】

〔実施例 2〕

さらに、実機のホットランテーブルローラーについて、本発明法を適用した場合の効果を確認するため、次のような実験を行った。

すなわち、径が $300 mm$ で軸長が $2000 mm$ の、機械構造用炭素鋼鋼管 (STKM13A) からなるホットランテーブルローラー基材の外周面に、表 2 の例 3 の条件で放電表面処理を施して皮膜を形成させた。そのローラーを、実際の熱延工場にてホットランテーブルローラーとして 1 年間使用した。

そして従来のホットランテーブルローラーである $13\% Cr$ 鋼肉盛ローラー及び Ni 基自溶合金溶射ローラーと、本実施例 2 によるローラーの消耗径とを比較した。その結果、本発明のホットランテーブルローラーの消耗量は $\phi 0.08 mm$ であり、従来の $13\% Cr$ 系肉盛ローラーの消耗量である $\phi 1.39 mm$ や Ni 基自溶合金溶射ローラーの消耗量である $\phi 0.27 mm$ と比較して著しく小さく、耐摩耗性が優れていることが確認された。なお上記の 1 年間の使用期間中、相手材である熱延ストリップを傷つける事故は、全く発生しなかった。

【0056】

以上、本発明の好ましい実施形態および実施例について説明したが、これらの実施形態、実施例は、あくまで本発明の要旨の範囲内の一つの例に過ぎず、本発明の要旨から逸脱しない範囲内で、構成の付加、省略、置換、およびその他の変更が可能である。すなわち本発明は、前述した説明によって限定されることはなく、添付の特許請求の範囲によってのみ限定され、その範囲内で適宜変更可能であることはもちろんである。

【符号の説明】

【0057】

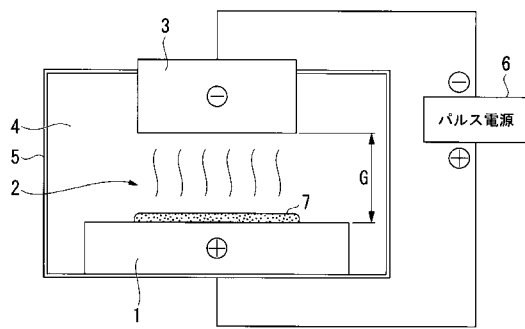
- 1 被処理材
- 2 対向空間 (隙間)
- 3 電極
- 4 処理油
- 6 パルス電源
- 7 皮膜 (放電処理皮膜)
- WTp パルス幅

10

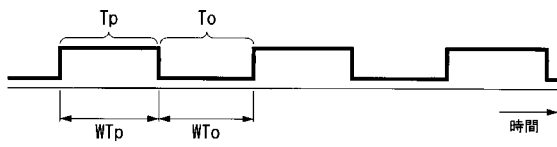
20

30

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

- (72)発明者 伊東 誠司
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 井上 剛
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 栗栖 泰
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内