

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 9 月 15 日(15.09.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/143197 A1

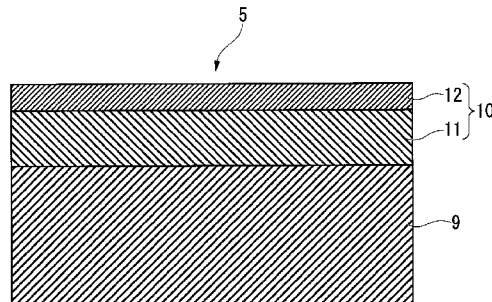
- (51) 国際特許分類:
C23C 28/02 (2006.01) C23C 10/10 (2006.01)
C23C 4/08 (2016.01) F04D 29/28 (2006.01)
C23C 4/10 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/082392
- (22) 国際出願日: 2015 年 11 月 18 日(18.11.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-047037 2015 年 3 月 10 日(10.03.2015) JP
特願 2015-047928 2015 年 3 月 11 日(11.03.2015) JP
特願 2015-052878 2015 年 3 月 17 日(17.03.2015) JP
特願 2015-058035 2015 年 3 月 20 日(20.03.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鳥越 泰治(TORIGOE Taiji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 山田 政博(YAMADA Masahiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 井上 亜希(INOUE Aki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 工藤 大祐(KUDO Daisuke); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 森 隆一郎, 外(MORI Ryuichirou et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: COATING LAYER, COMPRESSOR, METHOD FOR PRODUCING COATING LAYER, IMPELLER, AND METHOD FOR PRODUCING IMPELLER

(54) 発明の名称: コーティング層、圧縮機、コーティング層の製造方法、インペラ、インペラの製造方法



(57) Abstract: This coating layer (10) includes: a corrosion resistant layer (11) formed from a cobalt base alloy or a nickel base alloy laminated on a base material (9); and an abrasion resistant layer (12) formed by performing a chromium diffusion-penetration treatment on the surface of the corrosion resistant layer (11).

(57) 要約: コーティング層 (10) は、母材 (9) 上に積層されるニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層 (11) と、耐食層 (11) の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成された耐摩耗層 (12) と、を備える。



WO 2016/143197 A1

明 細 書

発明の名称：

コーティング層、圧縮機、コーティング層の製造方法、インペラ、インペラの製造方法

技術分野

[0001] この発明は、コーティング層、圧縮機、コーティング層の製造方法、インペラ、インペラの製造方法に関する。

本願は、2015年3月10日に、日本に出願された特願2015-047037号、2015年3月11日に、日本に出願された特願2015-047928号、2015年3月17日に、日本に出願された特願2015-052878号、および、2015年3月20日に、日本に出願された特願2015-058035号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 圧縮機にあっては、非特許文献1のような海底生産システム（Subsea Production System）や、非特許文献2のような浮体式海洋石油貯蔵設備（Floating Production Storage and Offloading、FPSO）に使用されるものが知られている。非特許文献1の海底生産システムに使用される圧縮機は、例えば、海底に設置されて海底から数kmの深さまで掘削した生産井から原油や天然ガス等が混在した生産流体を海上に送り出す用途で用いられる。非特許文献2の浮体式海洋石油貯蔵設備に使用される圧縮機は、船舶等の海上設備に設置される。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：三菱重工技報 Vol. 34 No. 5 P310-P313

非特許文献2：Turbomachinery International

S e p t e m b e r / O c t o b e r 2 0 1 4 P 1 8 - P 2 4

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 一般に用いられる圧縮機の場合、取り扱う流体は精製されている場合が多い。しかし、非特許文献1や非特許文献2で用いる圧縮機の場合、その取り扱う流体は、フィルタ等により前処理がされているものの、十分に固形物の除去がなされていない場合がある。例えば、フィルタ等による前処理としては、 $10\mu\text{m}$ 以下の固形物を98%程度分離できるものもあるが、残りの数%が残留してしまう。また、非特許文献1や非特許文献2で取り扱う流体の場合、 $10\mu\text{m}$ の固形物は、硬質であることが多い。

[0005] 非特許文献1や非特許文献2で取り扱う流体には、硫黄などの腐食成分が含まれている。そのため、非特許文献1や非特許文献2で用いる圧縮機には、流体と接する部分に、腐食対策として溶射などの表面処理が施されている。

しかしながら、このような腐食対策の表面処理では、上述した流体に含まれる残留した固形物によって摩耗や剥離が生じてしまい、腐食の進行を抑制できなくなる場合がある。

[0006] さらに、溶射による表面処理は、特に硬質の皮膜の場合には、微小なピンホールが形成されることが多く、腐食環境が非常に厳しい場合には耐食性が充分ではない場合がある。

つまり、溶射による表面処理の耐摩耗性を向上させようとする、十分な耐腐食性を確保することができない可能性がある。

さらに、遠心圧縮機の場合、インペラ全体に硬質な表面処理を施すことにより疲労強度が低下すると、インペラの信頼性や、製造性が低下してしまうという課題がある。

更に、皮膜の密着性の観点から耐食性の高い材料を単に溶射するだけでは充分でない可能性がある。

[0007] この発明は、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、耐摩耗

性、及び密着性の各特性を十分に確保することができるコーティング層、圧縮機、および、コーティング層の製造方法を提供することを第一の目的とする。

この発明は、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保しつつ、信頼性、および、製造性の低下を抑制することができるインペラ、圧縮機、および、インペラの製造方法を提供することを第二の目的とする。

この発明は、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、耐摩耗性、及び密着性の各特性を十分に確保することができるコーティング層、圧縮機、および、コーティング層の製造方法を提供することを第三の目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] この発明の第一態様によれば、コーティング層は、母材上に積層されるニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層と、前記耐食層の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成された耐摩耗層と、を備える。

このように構成することで、母材上にニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層が形成されるため、母材を、硫黄分などによる腐食から守ることができる。さらに、耐食層の表面に耐摩耗層が形成されることで、固形物の衝突による耐食層の摩耗や剥離を抑制できる。

その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0009] この発明の第二態様によれば、圧縮機は、第一態様のコーティング層を備えている。

このように構成することで、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う圧縮機の信頼性を向上できる。

[0010] この発明の第三態様によれば、コーティング層の製造方法は、母材上にニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程と、前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金の表面にクロム拡散浸透処理を施

す耐摩耗層形成工程と、を含む。

このようにすることで、耐食性と耐摩耗性に優れたコーティング層を容易に形成することができる。

[0011] この発明の第四態様によれば、インペラは、ブレードの母材上に、耐食性を有するニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層と、前記耐食層の少なくとも一部に対してクロム拡散浸透処理を施すことによって形成される耐摩耗層と、を有するコーティング層と、を備える。前記コーティング層は、少なくとも前記ブレードの前縁部を含む第一領域に前記耐摩耗層を備え、前記第一領域の表面のクロム濃度が、前記第一領域以外の第二領域の表面のクロム濃度よりも高くなるように形成されている。

このように構成することで、インペラ本体のうち、流速が高く、固形物の粒子の衝突による摩耗が生じやすいブレードの前縁部を含む第一領域の表面の硬度を、第二領域の表面の硬度よりも相対的に高めることができる。その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保できる。また、インペラ本体の全体に硬質な表面処理を施すことによる疲労強度の低下を抑制できるため、信頼性、および、製造性の低下を抑制することができる。

[0012] この発明の第五態様によれば、インペラは、第四態様における第一領域の耐食層が、前記第二領域の前記耐食層よりもクロム濃度が高くなるように形成され、前記第一領域、および、第二領域の両方に前記クロム拡散浸透処理による前記耐摩耗層が形成されるようにしてもよい。

このように構成することで、第一領域と第二領域との両方に耐摩耗層を形成しつつ、第一領域の表面のクロム濃度を、第二領域の表面のクロム濃度よりも高めることができる。

そのため、第一領域の表面の硬度を、第二領域の表面の硬度よりも相対的に高くすることができる。

[0013] この発明の第六態様によれば、インペラは、第四態様において、前記第一領域にのみ前記耐摩耗層を備えるようにしてもよい。

このように構成することで、第一領域および第二領域の両方に耐摩耗層を形成して第一領域の表面のクロム濃度を第二領域の表面のクロム濃度よりも高くする場合よりも、さらに第一領域以外の第二領域の表面のクロム濃度を抑制することができる。そのため、第二領域の疲労強度低下をより抑制できる。また、第一領域には耐摩耗層が形成されるため、高い流速で固形物が衝突し易いブレードの前縁部の耐摩耗性を向上できる。

[0014] この発明の第七態様によれば、圧縮機は、第四態様から第六態様の何れかのインペラを備える。

これにより、固形物を含む腐食性の流体を扱う圧縮機における信頼性、および、製造性を向上できる。

[0015] この発明の第八態様によれば、インペラの製造方法は、ブレードの前縁部を含む第一領域、および、前記第一領域以外の第二領域に、前記第一領域のクロム濃度が第二領域のクロム濃度よりも高くなるように、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程を含む。このインペラ製造方法は、前記第一領域、および、前記第二領域の両方にクロム拡散浸透処理を施す耐摩耗層形成工程を更に含む。

このようにすることで、クロム濃度を、第二領域の耐摩耗層よりも第一領域の耐摩耗層の方が高くなるようにすることができる。また、耐食層の全体に同一のクロム拡散浸透処理を施すだけで、第一領域の表面のクロム濃度を、第二領域の表面のクロム濃度よりも高めて、第一領域の硬度を第二位置領域の硬度よりも高めることができる。そのため、固形物が高速で衝突し易い第一領域の耐摩耗性を向上させつつ、第二領域の表面の疲労強度低下を抑制することができる。

[0016] この発明の第九態様によれば、インペラの製造方法は、ブレードの母材上に、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程を含む。このインペラの製造方法は、前記ブレードの前縁部を含む第一領域と、前記第一領域以外の第二領域とのうち、前記第一領域にのみクロム拡散浸透処理を施す耐摩耗層形成工程を更に含む。

このようにすることで、第一領域および第二領域ともに同じニッケル基合金、又は、コバルト基合金を母材上に積層すればよい。耐食層を容易に形成できる。さらに、第一領域の表面にのみクロム拡散浸透処理を施すので、第一領域のクロム濃度と、第二領域の表面のクロム濃度との差をより大きくすることができる。言い換えれば、第二領域の表面の硬度を高めずに、第一領域の硬度のみを高めることができる。そのため、固形物が高速で衝突し易い第一領域の耐摩耗性を向上させつつ、第二領域の表面における疲労強度の低下を抑制することができる。

[0017] この発明の第十態様によれば、インペラの製造方法は、第九態様において、前記第一領域を残して前記第二領域のみをマスキング処理するマスキング工程を含むようにしてもよい。

このようにすることで、容易、且つ、安定的に、クロム拡散浸透処理を第一領域に施すことができる。また、第二領域へのクロムの拡散浸透を効果的に抑制することができる。

[0018] この発明の第十一態様によれば、コーティング層は、母材上に層状に形成されたニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層を備えるコーティング層である。前記耐食層は、前記耐食層を形成するニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を層内に有する。

このように構成することで、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金の有する耐食性によって、母材に腐食性の流体が接触することを抑制できる。さらに耐食層の層内に硬質粒子が含まれることによって、腐食性の流体に含まれる固形物が衝突した場合、耐食層の硬質粒子にはじかれる。また、層内に硬質粒子を含むことで、耐食層自体の硬度を増加させることができる。そのため、流体に含まれる固形物の衝突による耐食層の摩耗を抑制できる。

その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0019] この発明の第十二態様によれば、コーティング層は、第十一態様における

耐食層が、前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金に対して、50～90vol%の前記硬質粒子を含むようにしてもよい。

このように構成することで、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金による耐食性を確保しつつ、流体に含まれる固形物が衝突することによる耐食層の摩耗を、より効果的に抑制できる。

[0020] この発明の第十三態様によれば、コーティング層は、第十一又は第十二態様の前記硬質粒子が、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つ、または二つ以上から形成された粒子を含むようにしても良い。

このように構成することで、硬質粒子の硬度をニッケル基合金、コバルト基合金よりも高くして流体に含まれる固形物が衝突することによる耐食層の摩耗を、より効果的に抑制できる。

[0021] この発明の第十四態様によれば、圧縮機は、第十一態様から第十三態様の何れかのコーティング層を備える。

これにより、固形物を含む腐食性の流体を扱う圧縮機において、流体と接触する部分の腐食や摩耗を抑制できる。そのため、信頼性の向上を図ることができる。

[0022] この発明の第十五態様によれば、コーティング層の製造方法は、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、前記ニッケル基合金、および、前記前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を混合して溶射材を作成する溶射材作成工程を含む。コーティング層の製造方法は、前記溶射材を母材の表面に溶射する溶射工程を更に含む。

このようにすることで、耐食性と、耐摩耗性との両方を有するコーティング層を容易に形成することができる。

[0023] この発明の第十六態様によれば、コーティング層は、母材上に溶射により形成されたニッケル－アルミニウム合金からなる耐食層と、前記耐食層を覆うように形成されて、前記ニッケル－アルミニウム合金よりも耐摩耗性の高い材料を含む耐摩耗層と、を備える。

このように構成することで、母材の表面に緻密で延性が高く、密着力の高い被膜層を形成することができる。さらに、耐食層を覆うように耐摩耗層が形成されているので、流体に含まれる固形物の衝突による耐食層の摩耗を抑制できる。加えて、耐食層の延性が高く、かつ母材との密着力が高いことから、母材の変形を耐食層に吸収させて耐食層へ作用する応力を緩和できる。そのため、耐摩耗層の硬度が高い場合であっても、耐摩耗層にヒビ、割れ、剥離等の損傷が発生することを抑制できる。

その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0024] この発明の第十七態様によれば、コーティング層は、第十六態様における耐摩耗層が、前記耐食層の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成されていてもよい。

このように構成することで、ニッケル－アルミニウム合金を備える耐食層の表面に、耐摩耗層としてクロム濃度の高い硬い層を形成することができる。そのため、流体に含まれる固形物の衝突により耐食層が摩耗して母材が摩耗することを抑制しつつ、耐食層の耐食性を十分に維持することができる。

[0025] この発明の第十八態様によれば、コーティング層は、第十六態様における耐摩耗層が、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を備えるとともに、前記ニッケル基合金、および、前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を層内に有するようにしてもよい。

このように構成することで、耐摩耗層に硬質粒子が含まれることによって、腐食性の流体に含まれる固形物が衝突した場合、この固形物が耐食層の硬質粒子にはじかれる。さらに、層内に硬質粒子を含むことで、耐摩耗層自体の硬度を増加させることができる。そのため、流体に含まれる固形物の衝突による耐摩耗層の摩耗を抑制して、耐食層や母材の摩耗を抑制できる。

[0026] この発明の第十九態様によれば、コーティング層は、第十八態様における耐摩耗層が、前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金に対して、50～90vol%の前記硬質粒子を含むようにしてもよい。

このようにすることで、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金による耐食性を確保しつつ、流体に含まれる固形物が衝突することによる耐食層の摩耗を、より効果的に抑制できる。

- [0027] この発明の第二十態様によれば、コーティング層は、第十八又は第十九態様における硬質粒子が、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つから形成された粒子を含んでもよい。

このようにすることで、硬質粒子の硬度をニッケル基合金、コバルト基合金よりも高くして流体に含まれる固形物が衝突することによる耐食層の摩耗を、より効果的に抑制できる。

- [0028] この発明の第二十一態様によれば、圧縮機は、第十六から第二十態様の何れか一つの態様のコーティング層を備える。

このように構成することで、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う圧縮機の信頼性を向上できる。

- [0029] この発明の第二十二態様によれば、コーティング層の製造方法は、母材上にニッケル－アルミニウム合金を積層して耐食層を形成する耐食層形成工程と、前記耐食層を覆うようにニッケル－アルミニウム合金よりも耐摩耗性の高い材料を含む耐摩耗層を形成する耐摩耗層形成工程と、を含む。

このように構成することで、耐食性と、耐摩耗性との両方を有するコーティング層を容易に形成することができる。

- [0030] この発明の第二十三態様によれば、コーティング層の製造方法は、第七態様における耐摩耗層形成工程が、前記ニッケル－アルミニウム合金の表面にクロム拡散浸透処理を施すクロム拡散浸透処理工程を含むようにしてもよい。

このように構成することで、ニッケル－アルミニウム合金の表面のクロム濃度を上昇させて、ニッケル－アルミニウム合金の表面の硬度を高めることができる。ニッケル－アルミニウム合金の表面から母材に近づくほどクロム濃度が低下するため、耐食層では緻密で十分な延性を確保した層を形成する

ことができる。

[0031] この発明の第二十四態様によれば、コーティング層の製造方法は、第七態様における耐摩耗層形成工程がニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、前記ニッケル基合金、および、前記前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を混合して溶射材を作成する溶射材作成工程を含むようにしてもよい。コーティング層の製造方法は、前記溶射材を、前記耐食層の表面に溶射する溶射工程を更に含むようにしてもよい。

このようにすることで、耐食層は緻密、且つ、延性の高い層としつつ、この耐食層を覆うように、耐摩耗性、および、耐食性の高い耐摩耗層を容易に形成することができる。

発明の効果

[0032] 上記コーティング層によれば、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

上記インペラによれば、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保しつつ、信頼性、および、製造性の低下を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]この発明の第一実施形態における圧縮機の概略構成図である。

[図2]この発明の第一実施形態におけるインペラ5の表面の拡大断面図である。

[図3]縦軸を摩耗量、横軸をクロム（Cr）含有量としたグラフである。

[図4]この発明の第一実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

[図5]この発明の第二実施形態におけるインペラの周方向断面図である。

[図6]この発明の第二実施形態におけるインペラの斜視図である。

[図7]この発明の第二実施形態におけるブレード表面の拡大断面図である。

[図8]縦軸をクロム（Cr）含有量、横軸をコーティング層の深さとしたグラ

フである。

[図9]この発明の第二実施形態におけるインペラの製造方法の処理フローである。

[図10]この発明の第二実施形態におけるブレード部の母材に、耐食層を形成した状態を示す拡大断面図である。

[図11]この発明の第二実施形態の変形例における図7に相当する拡大断面図である。

[図12]この発明の第二実施形態の変形例におけるインペラの製造方法の処理フローである。

[図13]この発明の第三実施形態におけるインペラ表面の拡大断面図である。

[図14]この発明の第三実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

[図15]この発明の第四実施形態におけるインペラ5の表面の拡大断面図である。

[図16]この発明の第四実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

[図17]この発明の第五実施形態における図15に相当する拡大断面図である。

[図18]この発明の第五実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

発明を実施するための形態

[0034] (第一実施形態)

次に、この発明の第一実施形態に係るコーティング層、圧縮機、コーティング層の製造方法を図面に基づき説明する。

この第一実施形態における圧縮機1は、海底数百から数千mに存在する油ガス田の生産井から採取された油・ガス等の生産流体を圧送する。この圧縮機1は、例えば、海洋油ガス田開発方式の一つである海底生産システム (Subsea Production System) に使用されて海底に設

けられたり、浮体式海洋石油貯蔵設備（Floating Production Storage and Offloading、FPSO）に使用されて海上に設けられたりする。この圧縮機1が取り扱う流体には、硫黄等の金属を腐食させる腐食成分が含まれるとともに、フィルタ（図示せず）により除去できなかった $10\mu\text{m}$ 以下の固形物が数%含まれている。

[0035] 図1は、この発明の第一実施形態における圧縮機の概略構成図である。

図1に示すように、圧縮機1は、ケーシング2と、回転軸3と、軸受部4と、インペラ5と、を備えている。この第一実施形態の説明において、圧縮機1として遠心圧縮機を例示しているが、軸流圧縮機であっても良い。

[0036] ケーシング2は、その内部に回転軸3、軸受部4、インペラ5をそれぞれ収容している。このケーシング2は、インペラ5とともに、圧縮する流体が流れる流路（図示せず）を形成する。

[0037] 回転軸3は、軸受部4を介して軸線O回りに回転可能に支持されている。この回転軸3には、モータ等の回転動力源（図示せず）が連係される。つまり、回転動力源を駆動することで、回転軸3が回転可能となっている。

[0038] 軸受部4は、ジャーナル軸受41と、スラスト軸受42と備えている。この第一実施形態の軸受部4は、2つのジャーナル軸受41と、1つのスラスト軸受42とをそれぞれ備えている。ジャーナル軸受41は、回転軸3に対して軸線Oを基準とする径方向に作用する荷重を支持する。スラスト軸受42は、回転軸3から径方向外側に突出するスラストカラー3aを介して、回転軸3に対して軸線O方向に作用する荷重を支持する。

[0039] インペラ5は、回転軸3に固定され、回転軸3とともに高速回転する。これにより、インペラ5は、吸込み口（図示せず）からケーシング2の内部に流入した流体Gを圧縮して、吐出口（図示せず）から圧縮流体Gcとして吐出する。この第一実施形態におけるインペラ5は、軸線O方向に複数設けられ、流体Gは、各インペラ5によって段階的に圧縮されて圧縮流体Gcとなる。

[0040] 図2は、この発明の第一実施形態におけるインペラ5の表面の拡大断面図

である。

図2に示すように、インペラ5は、その母材9の表面にコーティング層10を有している。母材9は、例えば、ステンレス鋼で形成される。コーティング層10は、母材9の耐食性、および、耐摩耗性を担保する。このコーティング層10は、耐食層11と、耐摩耗層12と、をそれぞれ備えている。

[0041] 耐食層11は、母材9の表面を覆うようにして層状に形成される。この耐食層11は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金、より具体的には、クロム含有量が20wt%以上のニッケル基合金、又は、クロム含有量が20wt%以上のコバルト基合金により形成される。耐食層11は、例えば、ニッケル基合金、および、コバルト基合金の粉末を母材9の表面に溶射により吹き付けて形成することができる。

[0042] さらに、ニッケル基合金としては、例えば、Ni-20Cr、Ni-50Cr、ハステロイX（登録商標：Ni-22Cr-1.5Co-9Mo-0.6W-18.5Fe）、および、インコネル625（登録商標：Ni-21.5Cr-9Mo-3.6Nb-0.2Al-0.2Ti-2.5Fe）などを用いることができる。また、コバルト基合金としては、例えば、Haynes alloy 188（登録商標：Co-22Cr-14W-3Fe）、CoNiCrAlY（Co-32Ni-21Cr-8Al-0.5Y）や、CoCrAlY（Co-29Cr-6Al-0.8Y）等を用いることができる。耐食層11の厚さは、例えば、20μm～1mm程度とされる。上述した溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。

[0043] 耐摩耗層12は、耐食層11の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成される。このクロム拡散浸透処理は、耐摩耗性に優れるクロムを拡散浸透させる処理である。このように耐食層11の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで、耐食層11よりも十分にクロム濃度の高い硬い層がコーティング層10の表面に形成される。クロム拡散浸透処理により形成される耐摩耗層12は、表面から遠いほど、言い換えれば母材9に近いほどクロムの濃度が

減少する。この第一実施形態における表面のクロム濃度は、ほぼ100%となっており、表面における硬度はHV800程度以上となる。例えば、クロム濃度が50wt%よりも高い場合、過度に硬くなり延性が失われ、疲労強度が低下する。そのため、耐摩耗層12は、固形物の衝突によりヒビや割れ等が生じる場合がある。クロム濃度が50wt%以下の場合（例えば、20wt%の場合）には、硬度はHV300程度となり、延性があり疲労強度が十分に確保されるため、耐摩耗層12のようなヒビや割れ等はまず生じない。

[0044] ここで、クロム拡散浸透処理の一例としては、被浸透処理物を、例えば、クロム粉末、酸化アルミニウム粉末、および、塩化アンモニウム粉末を含有する調合剤と共に鋼製の炉内に収容し密閉する。その後、例えば、水素ガスやアルゴンガスを通しながら、炉内にて900℃～1100℃で10時間程度加熱する。すると以下の反応式で示される反応が起こる。

[0045] $\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HCl}$ ($2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$)

$\text{Cr} + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CrCl}_2 + \text{H}_2$

$\text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Cr} + 2\text{HCl}$ (還元反応)

$\text{CrCl}_2 + \text{Me} \rightleftharpoons \text{Cr} + \text{MeCl}_2$ (置換反応)

ここで、「Me」は、処理金属である。

[0046] すなわち、クロム(Cr)は、塩酸(HCl)と反応し、塩化クロム(CrCl_2 ; 蒸気)となる。この塩化クロムは、処理金属の表面で水素(H_2)によって還元されてクロム(Cr)が析出する。この析出したクロム(Cr)は、拡散反応、又は、置換反応によって処理金属表面に拡散浸透する。これにより、5～100μm程度の耐摩耗層12を形成することができる。ここで、クロム拡散浸透処理は、クロムを処理金属に対して拡散浸透できればよく、上述した拡散浸透処理の方法に限られるものではない。

[0047] 図3は、縦軸を摩耗量、横軸をクロム(Cr)含有量としたグラフである。

図3に示すように、クロム含有量が多いほど（言い換えれば、クロム濃度

が高いほど）処理金属の摩耗量を低減できる。処理金属の摩耗量は、クロム含有量の増加に対して二次関数的に減少する。つまり、上述したようにコーティング層 10 は、クロム拡散浸透処理によってクロムの濃度が母材 9 から離れるほど高くなっており、コーティング層 10 の表面の耐摩耗性が最も高くなっている。また、コーティング層 10 は、母材 9 に近づくにつれてクロム濃度が低くなるため、母材 9 に近づくほど緻密に形成され、ピンホール等も形成されず、母材 9 の近傍では十分な耐食性が確保される。

[0048] 次に、上述したコーティング層 10 の製造方法について図面を参照しながら説明する。

図 4 は、この発明の第一実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

図 4 に示すように、まず、母材 9 の表面に、例えば、クロムを 20 wt % 以上含有するニッケル基合金、又は、コバルト基合金の粉末を、低温プラズマ溶射等により吹き付ける。これにより、母材 9 の表面に 20 μ m から 1 mm 程度のクロムを含有するニッケル基合金、又は、クロムを含有するコバルト基合金からなる耐食層 11 が形成される（ステップ S01；耐食層形成工程）。

[0049] 次いで、耐食層 11 に対して上述したクロム拡散浸透処理を実施する（ステップ S02；耐摩耗層形成工程）。つまり、耐食層 11 の表面にクロムの濃度が高い耐摩耗層 12 が形成される。このクロム拡散浸透処理を行う際に、容器内で 900℃～1100℃程度に加熱しながら処理を行うことで、酸化を伴わない環境下で耐食層 11 と母材 9 との間で原子の拡散が起こるため、耐食層 11 と母材 9 との密着力を高めることができる。そのため、耐食層 11 が母材 9 から剥離し難くなり耐食層 11 の信頼性が向上するという副次的な効果も生じる。ここで、クロム拡散浸透処理を行う前の下処理として、耐食層 11 の表面を研磨するようにしても良い。このようにすることで、耐食層 11 の表面の凹凸を均したり、酸化膜を除去したりすることができる。そのため、耐食層 11 に対してクロムをより安定的に、且つ、均一な厚さで

拡散浸透させることができる。更に、クロム拡散処理は、金属クロムを析出させるプロセスであり、溶射皮膜に元々存在していたピンホールを封孔でき、耐食性の一層の向上効果を発揮する。

[0050] したがって、上述した第一実施形態によれば、母材 9 上にニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層 11 が形成されるため、母材 9 を、硫黄分などによる腐食から守ることができる。さらに、耐食層 11 の表面に耐摩耗層 12 が形成されることで、固形物の衝突による耐食層 11 の摩耗や剥離を抑制できる。

[0051] また例えば、硬い耐摩耗層 12 にヒビ等が生じても、このヒビ等の進行を耐食層 11 で止めることができる。そのため、耐摩耗層 12 に生じたヒビ等に腐食性の流体が入り込んだとしても、この流体が母材 9 への到達することを抑制できる。その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0052] さらに、母材 9 の腐食や摩耗を低減できるため、圧縮機 1 の信頼性を向上することができる。

また、耐食層 11 を形成した後にクロム拡散浸透処理を行えばよいため、容易に耐食性と耐摩耗性に優れたコーティング層 10 を形成することができる。

[0053] この発明は、上述した第一実施形態に限定されるものではなく、この発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上述した第一実施形態に種々の変更を加えたものを含む。すなわち、第一実施形態で挙げた具体的な形状や構成等は一例にすぎず、適宜変更が可能である。

[0054] 例えば、上述した第一実施形態においては、コーティング層 10 がインペラ 5 の表面に形成される場合について説明した。しかし、コーティング層 10 を形成する箇所は、流体が流れる箇所であれば良く、インペラ 5 の表面に限られない。例えば、コーティング層 10 を、流体が流れる流路の内壁に形成するようにしても良い。また、コーティング層 10 は、圧縮機 1 が軸流圧縮機の場合には、動翼、および、静翼等の表面に形成される。

[0055] さらに、上述した第一実施形態においては、インペラ 5 が 3 つ並んで設けられる場合について説明したが、これに限られない。例えば、インペラ 5 を 2 つ以下備える圧縮機や 4 つ以上備える圧縮機にも適用できる（以下、第二から第五実施形態も同様）。

[0056] さらに、上述した第一実施形態における圧縮機 1 は、海底生産システム、浮体式海洋石油貯蔵設備に使用される場合を例示した。しかし、この発明は、これら海底生産システム、浮体式海洋石油貯蔵設備で用いられる圧縮機に限られない（以下、第二から第五実施形態も同様）。

[0057] （第二実施形態）

次にこの発明の第二実施形態を図面に基づき説明する。この第二実施形態においては、第一実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図 5 は、この発明の第二実施形態におけるインペラの周方向断面図である。

この発明の第二実施形態における圧縮機は、ケーシング 2 と、回転軸 3 と、軸受部 4 と、インペラ 205 と、を備えている。

図 5 に示すように、インペラ 205 は、ディスク部 20 と、ブレード部 21 と、を備えている。

ディスク部 20 は、回転軸 3 に焼嵌め等により固定されている。このディスク部 20 は、軸線 O 方向で流体 G がインペラ 205 に流入する流入側（図 5 中、左側）から軸線 O 方向で流入側とは反対側（図 5 中、右側）に向かって漸次拡径するように形成されている。このディスク部 20 は、その軸線 O 方向の流入側に、凹状の曲面 22 が形成されている。言い換えれば、この曲面 22 は、軸線方向の流入側においては軸線 O と交差する方向を向き、軸線 O 方向で流入側とは反対側に向かうにつれて漸次軸線 O 方向を向くように湾曲して形成されている。

[0058] ブレード部 21 は、上述したディスク部 20 の曲面 22 から突出するように形成されている。より具体的には、ブレード部 21 は、軸線 O を基準にし

た径方向の内側から外側に向かって曲面 2 2 に沿うように帯状に延びている。この第二実施形態におけるブレード部 2 1 は、径方向内側から径方向外側に向かって、その幅寸法が徐々に小さくなるように形成されている。このように形成されたブレード部 2 1 は、周方向に間隔をあけて複数形成されている。

[0059] 図 6 は、この発明の第二実施形態におけるインペラの斜視図である。

図 6 に示すように、ブレード部 2 1 は、周方向の一方に向かって湾曲して形成されている。ブレード部 2 1 は、更に、軸線 O 方向の流入側ほど周方向の他方に配されるように傾斜して形成される。ブレード部 2 1 は、更に、いわゆるリーディングエッジ（前縁部） 2 3 から所定の位置に湾曲部 2 4 を備えている。この湾曲部 2 4 は、周方向の一方に向けて凸となるように湾曲している。ここで、ブレード部 2 1 の形状は、上述した形状に限られない。例えば、ブレード部 2 1 が湾曲して形成される一例について説明したが、湾曲せずに直線的に形成するようにしてもよい。

[0060] インペラ 2 0 5 は、上述した構成を備えることで、回転軸 3 と共に軸線 O 回りに回転する。

この回転により、インペラ 2 0 5 は、軸線 O 方向の流入側から流入した流体 G を、径方向外側に送出する。

[0061] 図 7 は、この発明の第二実施形態におけるブレード表面の拡大断面図である。

図 7 に示すように、インペラ 2 0 5 は、その母材 2 0 9 の表面にコーティング層 2 1 0 を有している。母材 2 0 9 は、例えば、ステンレス鋼で形成される。コーティング層 2 1 0 は、母材 2 0 9 の耐食性、および、耐摩耗性を担保する。このコーティング層 2 1 0 は、耐食層 2 1 1 と、耐摩耗層 2 1 2 と、をそれぞれ備えている。

[0062] 耐食層 2 1 1 は、インペラ 2 0 5 の母材 2 0 9 の表面を覆うようにして層状に形成される。この耐食層 2 1 1 は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金、より具体的には、クロム濃度が 2 0 w t % 以上のニッケル基合金、又

は、クロム濃度が20wt%以上のコバルト基合金により形成される。耐食層211は、例えば、ニッケル基合金、および、コバルト基合金の粉末を母材209の表面に溶射により吹き付けて形成することができる。

[0063] ニッケル基合金としては、例えば、Ni-20Cr、Ni-50Cr、ハステロイX（登録商標：Ni-22Cr-1.5Co-9Mo-0.6W-18.5Fe）、および、インコネル625（登録商標：Ni-21.5Cr-9Mo-3.6Nb-0.2Al-0.2Ti-2.5Fe）などを用いることができる。また、コバルト基合金としては、例えば、Haynes alloy 188（登録商標：Co-22Cr-14W-3Fe）、CoNiCrAlY（Co-32Ni-21Cr-8Al-0.5Y）や、CoCrAlY（Co-29Cr-6Al-0.8Y）等を用いることができる。耐食層211の厚さは、例えば、20 μ m～1mm程度とされる。上述した溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。

[0064] 耐摩耗層212は、耐食層211の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成される。このクロム拡散浸透処理は、耐食性に優れるクロムを拡散浸透させる処理である。このように耐食層211の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで、耐食層211よりも十分にクロム濃度の高い硬い層がコーティング層210の表面に形成される。クロム拡散浸透処理により形成される耐摩耗層212は、表面から遠いほど、言い換えれば母材209に近いほどクロムの含有量が減少する。この第二実施形態における表面のクロム濃度は、ほぼ100%となっており、表面における硬度はHV800程度以上となる。例えば、クロム濃度が50wt%よりも高い場合、過度に硬くなり延性が失われ、疲労強度が低下する。そのため、耐摩耗層212は、固形物の衝突によりヒビや割れ等が生じる場合がある。クロム濃度が50wt%以下の場合（例えば、20wt%の場合）には、硬度はHV300程度となり、延性があり疲労強度が十分に確保されるため、耐摩耗層212のようなヒビや割れ等はまず生じない。

[0065] ここで、クロム拡散浸透処理の一例としては、被浸透処理物を、例えば、クロム粉末、酸化アルミニウム粉末、および、塩化アンモニウム粉末を含有する調合剤と共に鋼製の炉内に収容し密閉する。その後、例えば、水素ガスやアルゴンガスを通しながら、炉内にて900℃～1100℃で10時間程度加熱する。すると以下の反応式で示される反応が起こる。

[0066] $\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HCl}$ ($2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$)

$\text{Cr} + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CrCl}_2 + \text{H}_2$

$\text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Cr} + 2\text{HCl}$ (還元反応)

$\text{CrCl}_2 + \text{Me} \rightleftharpoons \text{Cr} + \text{MeCl}_2$ (置換反応)

ここで、「Me」は、処理金属である。

[0067] すなわち、クロム(Cr)は、塩酸(HCl)と反応し、塩化クロム(CrCl_2 ; 蒸気)となる。この塩化クロムは、処理金属の表面で水素(H_2)によって還元されてクロム(Cr)が析出する。この析出したクロム(Cr)は、拡散反応、又は、置換反応によって処理金属表面に拡散浸透する。これにより、5～100μm程度の耐摩耗層12を形成することができる。ここで、クロム拡散浸透処理は、クロムを処理金属に対して拡散浸透できればよく、上述した拡散浸透処理の方法に限られるものではない。

[0068] 図3に示すように、クロム含有量が多いほど(言い換えれば、クロム濃度が高いほど)処理金属の摩耗量を低減できる。処理金属の摩耗量は、クロム含有量の増加に対して二次関数的に減少する。

[0069] つまり、上述したようにコーティング層210は、クロム拡散浸透処理によってクロムの濃度が母材209から離れるほど高くすることができ、コーティング層210の表面の耐摩耗性を最も高くすることができる。このクロム拡散浸透処理を行ったコーティング層210は、母材209に近づくにつれてクロム濃度が低くなる。そのため、母材209に近づくほど緻密に形成され、ピンホール等も形成されず、母材209の近傍では十分な耐食性が確保される。

[0070] 図5、図3に示すように、上述したコーティング層210は、少なくとも

ブレード部 21 のリーディングエッジ（前縁部）23 を含む第一領域 30 の表面のクロム濃度が、第一領域 30 以外の第二領域 31 の表面のクロム濃度よりも高くなるように形成されている。図 5 において、ブレード部 21 の破線よりも左側が第一領域 30、右側が第二領域 31 である。

[0071] ここで、リーディングエッジ 23 は、圧縮機 1 に流入した流体 G が、最も高速で衝突する部位である。リーディングエッジ 23 よりも下流においては、流体 G がブレード部 21 の外周側に旋回するため、流体 G の衝突速度は大きく低下する。つまり、第一領域 30 は、ブレード部 21 の表面のうち、最も摩耗し易い領域を含むように設定されている。しかし、第一領域 30 は、クロム濃度が高いことで、その硬度が相対的に高く（例えば、HV1000 程度に）なるため、その領域が広過ぎると製造時等における取り扱いが難しくなる。第一領域 30 の硬度が高いことで、延性が低下して疲労強度が低下する可能性がある。

[0072] そこで、インペラ 205 では、第一領域 30 の表面のクロム濃度のみを高く（例えば、100% 近くに）している。例えば、第一領域 30 は、ブレード部 21 の表面のうち、軸線 O 方向でリーディングエッジ 23 から、ブレード部 21 の軸線 O 方向における長さ寸法（以下、単に軸方向寸法と称する）の 50% の領域とすることができる。このようにすることで、軸方向寸法の 50% よりも広い領域に第一領域 30 を設定する場合と比較して、リーディングエッジ 23 および、その近傍における摩耗を抑制しつつ、製造時の割れ等を抑制して取り扱いを容易にし、更に疲労強度の低下を抑制することができる。

[0073] 第一領域 30 は、リーディングエッジ 23 から軸方向寸法の 25% の領域としても良い。このようにすることで、リーディングエッジ 23 および、その近傍における摩耗を抑制しつつ、第一領域 30 のリーディングエッジ 23 からの軸方向寸法が 50% の場合よりも更に疲労強度の更なる低下を図り、製造時の取り扱い性を向上することができる。

[0074] 第一領域 30 は、更に、リーディングエッジ 23 から軸方向寸法の 10%

の領域としても良い。この場合、特にリーディングエッジ 23 における摩耗を抑制しつつ、第一領域 30 のリーディングエッジ 23 からの軸方向寸法が 50% や 25% の場合と比較して、疲労強度の更なる低下を図り、最も製造時の取り扱い性を向上することができる。ここで、第一領域 30 が、リーディングエッジ 23 から軸方向寸法の 10% の領域よりも狭い場合、リーディングエッジ 23 に対して耐摩耗層 12 を正確に施工するために熟練を要し、作業者にかかる負担が増加してしまう可能性がある。

[0075] 第一領域 30 は、上述した 50%、25%、および、10% という領域にも限られない。例えば、図 6 に示すように、ブレード部 21 に湾曲部 24 が形成されている場合には、軸線 O 方向でブレード部 21 のリーディングエッジ 23 から湾曲部 24 の頂点 T までの領域を、第一領域 30 としても良い。このようにすることで、特に微粒子等の衝突による摩耗が顕著となるリーディングエッジ 23 から湾曲部 24 の頂点までの領域を耐摩耗層 12 により効率よく保護できる。

[0076] 図 8 は、縦軸をクロム (Cr) 含有量、横軸をコーティング層の深さとしたグラフである。この図 8 においては、この第二実施形態における第一領域 30 のクロム含有量（言い換えれば、クロム濃度）を実線、第二領域 31 のクロム含有量（言い換えれば、クロム濃度）を破線で示している。

図 8 に示すように、母材 209 の表面に形成される耐食層 211 は、第一領域 30 と第二領域 31 とでクロム濃度が異なる。より具体的には、耐食層 11 は、第一領域 30 におけるクロム濃度の方が、第二領域 31 のクロム濃度よりも高くなっている。ここで、この第二実施形態の耐食層 11 のクロム濃度は、第一領域 30、第二領域 31 とともに、20wt% から 50wt% の範囲内とされ、この範囲内で第一領域 30 と第二領域 31 との各クロム濃度に差がつけられている。

[0077] この第二実施形態におけるコーティング層 210 は、上述したクロム濃度の異なる耐食層 211 の第一領域 30 と第二領域 31 との両方に対して、同一のクロム拡散浸透処理を施すことで耐摩耗層 212 が形成されている。こ

のクロム拡散浸透処理によれば、第一領域 30 および第二領域 31 の両方の耐食層 211 の表面に均等にクロムが拡散浸透する。これにより、第一領域 30 と第二領域 31 との両方の表面に耐食層 211 よりもクロム濃度の高い耐摩耗層 212 が形成される。

[0078] この際、第一領域 30 および第二領域 31 の両方の耐食層 211 の表面に均等にクロムが拡散浸透するため、第一領域 30 の耐摩耗層 212 の表面の方が、第二領域 31 の耐摩耗層 212 の表面よりもクロム濃度が高くなり耐摩耗性が高くなる。第一領域 30 および第二領域 31 の各耐摩耗層 212 のクロム濃度は、コーティング層 210 の表面から拡散浸透到達限界に向かって徐々に低下する。拡散浸透到達限界とは、クロム拡散浸透処理によりクロムがコーティング層 210 の表面から到達可能な深さの限界である。

[0079] 次に、この第二実施形態におけるインペラ 205 の製造方法について図面を参照しながら説明する。

図 9 は、この発明の第二実施形態におけるインペラの製造方法の処理フローである。図 10 は、この発明の第二実施形態におけるブレード部の母材に、耐食層を形成した状態を示す拡大断面図である。

[0080] 図 9 に示すように、まず、ブレード部 21 の母材 209 の表面に、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金の粉末を、低圧プラズマ溶射等により吹き付ける（ステップ S201；耐食層形成工程）。より具体的には、母材 209 の第一領域 30 にクロムを含有するニッケル基合金の粉末、又は、クロムを含有するコバルト基合金の粉末を、低圧プラズマ溶射等により吹き付ける。同様に、母材 209 の第二領域 31 にクロムを含有するニッケル基合金の粉末、又は、クロムを含有するコバルト基合金の粉末を、低圧プラズマ溶射等により吹き付ける。この際、第一領域 30 のクロム濃度が、第二領域 31 のクロム濃度よりも高くなるようにする。

[0081] この第二実施形態の一例では、第一領域 30 に吹き付けるニッケル基合金、又は、コバルト基合金の粉末は、クロムを 50 wt % 含有する。第二領域 31 に吹き付けるニッケル基合金、又は、コバルト基合金の粉末は、クロム

を20wt%含有する。このようにすることで、図10に示すように、第一領域30、第二領域31共に、母材209の表面に20 μ mから1mm程度のクロムを含有するニッケル基合金、又は、クロムを含有するコバルト基合金からなる耐食層211が形成される。

[0082] 次いで、第一領域30の耐食層211、および、第二領域31の耐食層211に対して上述したクロム拡散浸透処理を実施する（ステップS202；耐摩耗層形成工程）。これにより、図7に示すように、耐食層211の表面全体に、所定厚さでクロムの濃度が耐食層211よりも相対的に高い耐摩耗層212が形成される。

[0083] ここで、この第二実施形態の一例では、第一領域30、および、第二領域31の両方においてクロム濃度が50wt%程度上昇する。このクロム拡散浸透処理を行う際に、容器内で900℃～1100℃程度に加熱しながら処理を行うことで、酸化を伴わない環境下で耐食層211と母材209との間で原子の拡散が起こるため、耐食層211と母材209との密着力を高めることができる。そのため、耐食層211が母材209から剥離し難くなり耐食層211の信頼性が向上するという副次的な効果も生じる。

[0084] ここで、クロム拡散浸透処理を行う前の下処理として、耐食層211の表面を研磨するようにしても良い。このようにすることで、耐食層211の表面の凹凸を均したり、酸化膜を除去したりすることができる。そのため、耐食層211に対してクロムをより安定的に、且つ、均一な厚さで拡散浸透させることができる。更に、クロム拡散処理は、金属クロムを析出させるプロセスであり、溶射皮膜に元々存在していたピンホールを封孔でき、耐食性の一層の向上効果を発揮する。

[0085] したがって、上述した第二実施形態によれば、インペラ205の母材209上にニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層211が形成されるため、母材209を、硫黄分などによる腐食から守ることができる。さらに、インペラ205のうち、流速が高く、粒子の衝突による摩耗が生じやすいブレード部21のリーディングエッジ23を含む第一領域30の表面

の硬度を、第二領域 31 の表面の硬度よりも相対的に高めることができる。その結果、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保できる。また、インペラ 205 の全体に硬質な表面処理を施すことによる疲労強度の低下を抑制できるため、信頼性、および、製造性の低下を抑制することができる。

[0086] さらに、上述した第二実施形態では、第一領域 30 の耐食層 211 が、第二領域 31 の耐食層 211 よりもクロム濃度が高くなるように形成され、更にクロム拡散浸透処理により第一領域 30、および、第二領域 31 の両方に耐摩耗層 212 が形成されている。そのため、第一領域 30 と第二領域 31 との両方に耐摩耗層 212 を形成しつつ、第一領域 30 の表面のクロム濃度を、第二領域 31 の表面のクロム濃度よりも高めることができる。そのため、第一領域 30 の表面の硬度を、第二領域 31 の表面の硬度よりも相対的に高くすることができる。

[0087] (第二実施形態の変形例)

次に、この発明の第二実施形態の変形例を図面に基づき説明する。この変形例は、上述した第二実施形態とコーティング層 210 の構造が異なる。そのため、この変形例の説明においては、上述した第二実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図 11 は、この発明の第二実施形態の変形例における図 7 に相当する拡大断面図である。

図 11 に示すように、インペラ 205 a は、その母材 209 の表面にコーティング層 210 a を有している。このコーティング層 210 a は、耐食層 211 a と、耐摩耗層 212 a と、をそれぞれ備えている。

[0088] 耐食層 211 a は、インペラ 205 の母材 209 の表面を覆うようにして層状に形成される。この耐食層 211 a は、上述した第二実施形態と同様に、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金、より具体的には、クロム濃度が 20 wt % 以上のニッケル基合金、又は、クロム濃度が 20 wt % 以上のコバルト基合金により形成される。この耐食層 211 a のクロム濃度は、例え

ば、20wt%から50wt%の範囲内とされている。

[0089] 耐摩耗層212aは、耐食層211aの表面のうち、リーディングエッジ23を含む第一領域30にクロム拡散浸透処理を施すことで形成される。耐摩耗層212aは、第一領域30以外の第二領域31には形成されない。つまり、コーティング層210aの表面のうち、第一領域30の表面には、耐食層211aよりも十分にクロム濃度の高い硬い層が形成される。

[0090] 次に、この変形例におけるインペラ205aの製造方法について図面を参照しながら説明する。図12は、この発明の第二実施形態の変形例におけるインペラの製造方法の処理フローである。

図12に示すように、まず、ブレード部21の母材209の表面に、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末を、低圧プラズマ溶射等により吹き付ける（ステップS201；耐食層形成工程）。より具体的には、母材209の第一領域30、および、第二領域31の両方に、クロムを含有するニッケル基合金の粉末、又は、クロムを含有するコバルト基合金の粉末を、低圧プラズマ溶射等により吹き付ける。この際、第一領域30に吹き付けるニッケル基合金、又は、コバルト基合金と、第二領域31に吹き付けるニッケル基合金、又は、コバルト基合金とは、同一とされる。つまり、母材209の表面には、クロム濃度が一定の耐食層211aが一様に形成される。この変形例では、第一領域30、および、第二領域31に吹き付けるニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末は、例えば、クロムをそれぞれ20wt%含有する。

[0091] 次いで、第二領域31の表面をマスキング処理する（ステップS211；マスキング工程）。このマスキング処理は、第二領域31に対してクロム拡散浸透処理による塩化クロムガスの浸透を阻害できればよい。ここで、マスキング処理としては、メタルマスキングを例示できる。さらに、このメタルマスキングとしては、第一領域30だけを露出させて、第二領域31を金属ボックス（図示せず）により覆う方法が例示できる。また、マスキングの方法としては、粉末状又はスラリー状のマスキング材（例えば、APV社製等

）を第二領域 31 に付着させて覆う方法も例示できる。粉末状のマスキング材を用いる場合には、バインダーを加えることでマスキング材を第二領域 31 の表面に付着させることができる。

[0092] その後、第一領域 30 の耐食層 211a に対して上述したクロム拡散浸透処理を実施する（ステップ S202；耐摩耗層形成工程）。ここで、第二領域 31 の耐食層 11 には、マスキング処理が施されているため、第一領域 30 のみにクロム拡散浸透処理が施される。これにより、図 11 に示すように、耐食層 211a の表面のうち、第一領域 30 の表面に所定厚さでクロムの濃度が高い耐摩耗層 212a が形成される。ここで、この変形例では、第一領域 30 の耐摩耗層 212a の表面は、クロム濃度が 100wt% 程度まで上昇し、第二領域 31 の耐食層 211a の表面は、クロム濃度が 20wt% 程度となる。

[0093] したがって、上述した第二実施形態の変形例によれば、第一領域 30 および第二領域 31 とともに同じニッケル基合金、又は、コバルト基合金を母材 209 上に積層すればよいため、耐食層 211a を容易に形成できる。さらに、第一領域 30 の表面にのみクロム拡散浸透処理を施すので、第一領域 30 のクロム濃度と、第二領域 31 の表面のクロム濃度との差をより大きくすることができる。言い換えれば、第二領域 31 の表面の硬度を高めずに、第一領域 30 の表面の硬度のみを高めることができる。そのため、固形物が高速で衝突し易い第一領域 30 の耐摩耗性を向上させつつ、第二領域 31 の表面における疲労強度の低下を十分に抑制することができる。

[0094] さらに、第一領域 30 を残して第二領域 31 のみをマスキング処理することで、容易、且つ、安定的に、クロム拡散浸透処理を第一領域 30 の耐食層 211a の表面に施すことができる。また、第二領域 31 へのクロムの拡散浸透を効果的に抑制することができる。

[0095] この第二実施形態の変形例では、上述した第二実施形態と同様に、クロム拡散浸透処理を行う際に、酸化を伴わない環境下で耐食層 211a と母材 209 との間で原子の拡散が起こるため、耐食層 211a と母材 209 との密

着力を高めることができる。

クロム拡散浸透処理を行う前の下処理として、耐食層 2 1 1 a の表面を研磨するようにしても良い。

[0096] この発明は、上述した第二実施形態、および、その変形例に限定されるものではなく、この発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上述した第二実施形態に種々の変更を加えたものを含む。すなわち、第二実施形態で挙げた具体的な形状や構成等は一例にすぎず、適宜変更が可能である。

[0097] 上述した第二実施形態の変形例においては、マスキング処理を行った後にクロム拡散浸透処理を行う場合について説明した。しかし、第二領域 3 1 の表面に対して第一領域 3 0 の表面におけるクロム濃度が相対的に高くなれば良く、例えば、マスキング処理を省略した状態で、第一領域 3 0 を重点的にクロム拡散浸透処理するようにしても良い。

[0098] 上述した第二実施形態の圧縮機は、いわゆるオープン型のインペラ 2 0 5 を備える場合について説明した。しかし、インペラ 2 0 5 は、オープン型に限られない。例えば、カバー部材を備えるクローズ型のインペラであっても良い。

[0099] (第三実施形態)

次に、この発明の第三実施形態を図面に基づき説明する。この第三実施形態においては、第一、第二実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図 1 3 は、この発明の第三実施形態におけるインペラ表面の拡大断面図である。

この第三実施形態における圧縮機は、ケーシング 2 と、回転軸 3 と、軸受部 4 と、インペラ 3 0 5 と、を備えている。インペラ 3 0 5 は、ディスク部 2 0 と、ブレード部 2 1 と、を備えている。

図 1 3 に示すように、インペラ 3 0 5 は、その母材 3 0 9 の表面にコーティング層 3 1 0 を有している。母材 3 0 9 は、例えば、ステンレス鋼で形成される。コーティング層 3 1 0 は、母材 3 0 9 の耐食性、および、耐摩耗性

を担保する。このコーティング層 310 は、耐食層 311 を備えている。

[0100] 耐食層 311 は、インペラ 305 の母材 309 の表面を覆うようにして層状に形成される。この耐食層 311 は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金、より具体的には、クロム濃度が 20 wt % 以上のニッケル基合金、又は、クロム濃度が 20 wt % 以上のコバルト基合金により層状に形成されている。耐食層 311 は、この耐食層 311 を形成するニッケル基合金、又は、コバルト基合金よりも硬度の高い材料により形成される複数の硬質粒子 K を層内に有している。この第三実施形態における耐食層 311 は、ニッケル基合金のクロム濃度、および、コバルト基合金のクロム濃度が共に 20 ~ 50 wt % とされている。ここで、クロム濃度が 20 wt % を下回る場合は、摩耗し易くなり、クロム濃度が 50 wt % を上回る場合は、硬度が上昇すぎて、ピンホール等が形成され耐食性が低下するとともに、延性の低下により疲労強度が低下して取り扱いが難しくなる。

[0101] ニッケル基合金としては、例えば、Ni-20Cr、Ni-50Cr、ハステロイ X（登録商標：Ni-22Cr-1.5Co-9Mo-0.6W-18.5Fe）、および、インコネル 625（登録商標：Ni-21.5Cr-9Mo-3.6Nb-0.2Al-0.2Ti-2.5Fe）などを用いることができる。また、コバルト基合金としては、例えば、Haynes alloy 188（登録商標：Co-22Cr-14W-3Fe）、CoNiCrAlY（Co-32Ni-21Cr-8Al-0.5Y）や、CoCrAlY（Co-29Cr-6Al-0.8Y）等を用いることができる。耐食層 311 の厚さは、例えば、20 μm ~ 1 mm 程度とされる。ここで、ニッケル基合金、および、コバルト基合金の硬度は、ビッカース硬さで HV300 程度である。つまり、この第三実施形態におけるニッケル基合金、および、コバルト基合金は、それぞれ延性があり疲労強度が十分に確保される。そのため、硬度が過度に高いことによるヒビや割れ等は生じ難くなっている。

[0102] 硬質粒子 K としては、例えば、タングステンカーバイド（WC）、炭化ク

ロム (Cr_3C_2)、炭化ケイ素 (SiC)、窒化ケイ素 (Si_3N_4)、立方晶窒化ホウ素 (Cbn)、および、酸化アルミニウム (Al_2O_3) などを用いることができる。硬質粒子Kの硬度は、例えば、ビッカース硬さで、タングステンカーバイトでHV2500程度、炭化クロムでHV1300程度である。さらに、炭化ケイ素でHV2400程度、窒化ケイ素でHV1800程度、立方晶窒化ホウ素でHV5000程度、酸化アルミニウムでHV2200程度となる。さらに、硬質粒子Kは、粒径が $5 \sim 50 \mu\text{m}$ に形成されている。ここで、硬質粒子Kの粒径が $5 \mu\text{m}$ を下回ると、摩耗に対する抵抗が低下すると共に、成膜時に凝集しやすくなり、不均一な組織となりやすい。硬質粒子Kの粒径が $50 \mu\text{m}$ を上回ると、耐食層311の層内に硬質粒子Kを分散させることが困難になる。

[0103] 耐食層311は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対して、50～90vol%の硬質粒子Kを含んでいる。言い換えれば、耐食層311は、10～50vol%のニッケル基合金、又は、コバルト基合金を含んでいる。耐食層311の層内において、複数の硬質粒子Kは、均一に分散するようにして配置されている。ここで、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対する硬質粒子Kの割合が50vol%を下回ると、流体Gに含まれる固形物が硬質粒子Kに衝突する確率が低下して耐食層311の摩耗を十分に低減できない。

ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対する硬質粒子Kの割合が90vol%を上回ると、耐食層311の殆んどが硬質粒子Kとなるため、耐食層311の緻密さが低下し過ぎて、腐食性の流体Gに対して十分な耐食性能を発揮できなくなる。

[0104] 耐食層311は、溶射によって形成することができる。この溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。この溶射で用いる溶射材は、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に対して、硬質粒子Kを予め混合したものを用いることができる。このように硬質粒子Kを、

ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に対して上述した割合（ $v o l\%$ ）で混合する。

[0105] 次に、この第三実施形態におけるコーティング層の製造方法について図面を参照しながら説明する。

図14は、この発明の第三実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

図14に示すように、まず、溶射材を作成する（ステップS301；溶射材作成工程）。より具体的には、ニッケル基合金の粉末（例えば、平均粒径 $50\mu m$ 程度）、又は、コバルト基合金の粉末（例えば、平均粒径 $50\mu m$ 程度）に、これらニッケル基合金、および、コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された硬質粒子Kを $50\sim 90v o l\%$ （例えば、 $75v o l\%$ ）混合する。

[0106] 次に、作成した溶射材を、母材309の表面に溶射する（ステップS302；溶射工程）。

溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。この溶射によって、母材309の表面を覆うようにして、例えば、 $20\mu m\sim 1mm$ 程度の耐食層311を形成する。これにより、層内に硬質粒子Kが一様に分散された耐食層311が形成される。

[0107] したがって、上述した第三実施形態によれば、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金の有する耐食性によって、母材309に腐食性の流体Gが接触することを抑制できる。さらに耐食層311の層内に硬質粒子Kが含まれることによって、腐食性の流体Gに含まれる固形物Sが耐食層311の表面に衝突した場合に、耐食層311の硬質粒子Kにはじかれる。また、層内に硬質粒子Kを含むことで、耐食層311自体の硬度を増加させることができる。そのため、流体Gに含まれる固形物Sの衝突による耐食層311の摩耗を抑制できる。その結果、固形物Sを含む腐食性の流体Gを取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0108] さらに、耐食層 311 が、50～90vol%の硬質粒子Kを含むので、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金による耐食性を確保しつつ、流体Gに含まれる固形物Sが衝突することによる耐食層 311 の摩耗を、より効果的に抑制できる。

さらに、硬質粒子Kが、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つから形成されているため、硬質粒子Kの硬度をニッケル基合金、コバルト基合金よりも高くして流体Gに含まれる固形物Sが衝突することによる耐食層 311 の摩耗を、より効果的に抑制できる。

[0109] さらに、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、硬質粒子Kを混合して溶射材を作成し、この溶射材を母材 309 に吹き付けるだけで耐食層 311 を形成することができる。そのため、耐食性、および、耐摩耗性に優れた耐食層 311 を容易に形成することができる。

[0110] さらに、上述した実施形態の圧縮機 1 によれば、流体Gと接触する部分の腐食や摩耗を抑制できる。そのため、信頼性の向上を図ることができる。

[0111] この発明は、上述した第三実施形態に限定されるものではなく、この発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上述した第三実施形態に種々の変更を加えたものを含む。すなわち、実施形態で挙げた具体的な形状や構成等は一例にすぎず、適宜変更が可能である。

[0112] 上述した第三実施形態においては、硬質粒子Kが、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、および、立方晶窒化ホウ素のうち、単一の粒子を用いる場合を例示した。しかし、硬質粒子Kは、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素の各粒子のうち、複数種類の粒子を混ぜて使用し各硬質粒子単体特性の相乗効果による、更なる耐食性も期待出来る。

[0113] さらに、上述した第三実施形態においては、母材 309 の表面に耐食層 311 が直接形成される場合を例示した。しかし、耐食層 311 は、最外層に形成されていればよく、例えば、耐食層 311 と、母材 309 との間に他の

層を設けるようにしても良い。

[0114] (第四実施形態)

次に、この発明の第四実施形態を図面に基づき説明する。この第四実施形態においては、第一、第二実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図15は、この発明の第四実施形態におけるインペラの表面の拡大断面図である。

この第四実施形態における圧縮機は、ケーシング2と、回転軸3と、軸受部4と、インペラ405と、を備えている。インペラ405は、ディスク部20と、ブレード部21と、を備えている。

図15に示すように、インペラ405は、その母材409の表面にコーティング層410を有している。母材409は、例えば、ステンレス鋼で形成される。コーティング層410は、母材409の耐食性、および、耐摩耗性を担保する。このコーティング層410は、耐食層411と、耐摩耗層412と、をそれぞれ備えている。

[0115] 耐食層411は、母材409の表面を覆うようにして層状に形成される。

この耐食層411は、ニッケル-アルミニウム合金により形成される。耐食層411は、例えば、プラズマ溶射や、ワイヤー溶射などにより形成することができる。プラズマ溶射の場合、酸化ニッケルの粉末と、アルミニウムの粉末との混合物を母材409の表面に溶射により吹き付けることで耐食層411を形成できる。このニッケル-アルミニウム合金には、アルミニウムが1～10wt%含まれる。言い換えれば、ニッケル-アルミニウム合金には、ニッケルが90から99wt%含まれる。ここで、母材409の表面に溶射してニッケル-アルミニウム合金の層を形成する場合、テルミット反応により高温になるため、非常に緻密な層を形成することができる。このニッケル-アルミニウム合金は、非常に柔らかく延性が高い。また、母材とも極わずかに融合することから、母材との密着力は極めて高くなる。つまり、母材409の変形に対して、ヒビや割れ等が生じることなく追従できる。

[0116] 耐摩耗層 4 1 2 は、耐食層 4 1 1 の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成される。このクロム拡散浸透処理は、耐摩耗性に優れるクロムを拡散浸透させる処理である。このように耐食層 4 1 1 の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで、耐食層 4 1 1 よりも十分にクロム濃度の高い硬い層がコーティング層 4 1 0 の表面に形成される。クロム拡散浸透処理により形成される耐摩耗層 4 1 2 は、表面から遠いほど、言い換えれば母材 4 0 9 に近いほどクロムの濃度が減少する。この第四実施形態における表面のクロム濃度は、ほぼ 1 0 0 % となっており、表面における硬度は H V 8 0 0 程度以上となる。

[0117] ここで、クロム拡散浸透処理の一例としては、被浸透処理物を、例えば、クロム粉末、酸化アルミニウム粉末、および、塩化アンモニウム粉末を含有する調合剤と共に鋼製の炉内に収容し密閉する。その後、例えば、水素ガスやアルゴンガスを通しながら、炉内にて 9 0 0 °C ~ 1 1 0 0 °C で 1 0 時間程度加熱する。すると以下の反応式で示される反応が起こる。

[0118] $\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HCl}$ ($2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$)

$\text{Cr} + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CrCl}_2 + \text{H}_2$

$\text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Cr} + 2\text{HCl}$ (還元反応)

$\text{CrCl}_2 + \text{Me} \rightleftharpoons \text{Cr} + \text{MeCl}_2$ (置換反応)

ここで、「Me」は、処理金属である。

[0119] すなわち、クロム (Cr) は、塩酸 (HCl) と反応し、塩化クロム (CrCl_2 ; 蒸気) となる。この塩化クロムは、処理金属の表面で水素 (H_2) によって還元されてクロム (Cr) が析出する。この析出したクロム (Cr) は、拡散反応、又は、置換反応によって処理金属表面に拡散浸透する。これにより、5 ~ 1 0 0 μm 程度の耐摩耗層 4 1 2 を形成することができる。ここで、クロム拡散浸透処理は、クロムを処理金属に対して拡散浸透できればよく、上述した拡散浸透処理の方法に限られるものではない。

[0120] 図 3 に示すように、クロム含有量が多いほど (言い換えれば、クロム濃度が高いほど) 処理金属の摩耗量を低減できる。処理金属の摩耗量は、クロム

含有量の増加に対して二次関数的に減少する。つまり、上述したようにコーティング層410は、クロム拡散浸透処理によってクロムの濃度が母材409から離れるほど高くなっており、コーティング層410の表面の耐摩耗性が最も高くなっている。また、コーティング層410は、母材409に近づくにつれてクロム濃度が低くなるため、母材409に近づくほど緻密に形成され、ピンホール等も形成されず、母材409の近傍では十分な耐食性が確保される。

[0121] 次に、上述したコーティング層410の製造方法について図面を参照しながら説明する。

図16は、この発明の第四実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

図16に示すように、まず、母材409の表面に、酸化ニッケル（例えば、95wt%）、および、アルミニウム（例えば、5wt%）を溶射材として、プラズマ溶射等により吹き付ける。これにより、母材409の表面に20 μ mから1mm程度のニッケル-アルミニウム合金からなる耐食層411が形成される（ステップS401；耐食層形成工程）。

[0122] 次に、耐食層411に対して上述したクロム拡散浸透処理を実施する（ステップS402；耐摩耗層形成工程、クロム拡散浸透処理工程）。これにより、耐食層411の表面にクロムの濃度が高い耐摩耗層412が形成される。このクロム拡散浸透処理を行う際に、容器内で900℃～1100℃程度に加熱しながら処理を行うことで、酸化を伴わない環境下で耐食層411と母材409との間で原子の拡散が起こるため、耐食層411と母材409との密着力を高めることができる。そのため、耐食層411が母材409から剥離し難くなり耐食層411の信頼性が向上するという副次的な効果も生じる。

[0123] ここで、クロム拡散浸透処理を行う前の下処理として、耐食層411の表面を研磨するようにしても良い。このようにすることで、耐食層411の表面の凹凸を均したり、酸化膜を除去したりすることができる。そのため、耐

食層４１１に対してクロムをより安定的に、且つ、均一な厚さで拡散浸透させることができる。更に、クロム拡散処理は、金属クロムを析出させるプロセスであり、溶射皮膜に元々存在していたピンホールを封孔でき、耐食性の一層の向上効果を発揮する。

[0124] したがって、上述した第四実施形態によれば、母材４０９の表面に緻密で延性の高いニッケル－アルミニウム合金の耐食層４１１を形成することができる。さらに、耐食層４１１を覆うように耐摩耗層４１２が形成されているので、流体Ｇに含まれる固形物の衝突による耐食層４１１の摩耗を抑制できる。加えて、耐食層４１１の延性が高いことで、母材４０９の変形を耐食層４１１に吸収させて耐食層４１１へ作用する応力を緩和できる。そのため、耐摩耗層４１２の硬度が高い場合であっても、耐摩耗層４１２にヒビ、割れ、剥離等の損傷が発生することを抑制できる。その結果、固形物を含む腐食性の流体Ｇを取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0125] さらに、クロム拡散浸透処理によって、ニッケル－アルミニウム合金を層状に備える耐食層４１１の表面に、耐摩耗層４１２としてクロム濃度の高い硬い層を形成することができる。そのため、流体Ｇに含まれる固形物の衝突により耐食層４１１が摩耗して母材４０９が摩耗することを抑制しつつ、耐食層４１１の耐食性を十分に維持することができる。

[0126] さらに、上述したコーティング層４１０を圧縮機に適用することで、固形物を含む腐食性の流体Ｇを取り扱う際の信頼性を向上できる。

さらに、耐食層４１１の表面にクロム拡散浸透処理を施すだけで耐摩耗層４１２を形成できるため、耐食性と耐摩耗性との両方を有するコーティング層４１０を容易に形成することができる。

[0127] 加えて、ニッケル－アルミニウム合金の表面のクロム濃度を上昇させて、ニッケル－アルミニウム合金の表面の硬度を高めることができる。ニッケル－アルミニウム合金の表面から母材４０９に近づくほどクロム濃度を低下させることができる。そのため、耐食層４１１は、緻密で十分な延性を確保し

た層を確保できる。

[0128] (第五実施形態)

次に、この発明の第五実施形態を図面に基づき説明する。この第五実施形態は、上述した第四実施形態と耐摩耗層412の構成が異なるだけである。そのため、第四実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図17は、この発明の第五実施形態における図15に相当する拡大断面図である。

図17に示すように、インペラ405aは、その母材409の表面にコーティング層410aを有している。母材409は、例えば、ステンレス鋼で形成される。コーティング層410aは、母材409の耐食性、および、耐摩耗性を担保する。このコーティング層410aは、耐食層411と、耐摩耗層412aと、を備えている。

[0129] 耐食層411は、インペラ405aの母材409の表面を覆うようにして層状に形成される。この耐食層411は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金、より具体的には、クロム濃度が20wt%以上のニッケル基合金、又は、クロム濃度が20wt%以上のコバルト基合金により層状に形成されている。この第一実施形態における耐食層411は、ニッケル基合金のクロム濃度、および、コバルト基合金のクロム濃度が共に20~50wt%とされている。ここで、クロム濃度が20wt%を下回る場合は、摩耗し易くなり、クロム濃度が50wt%を上回る場合は、硬度が上昇しすぎて、ピンホール等が形成され耐食性が低下するとともに、延性の低下により疲労強度が低下して取り扱いが難しくなる。

[0130] ニッケル基合金としては、例えば、Ni-20Cr、Ni-50Cr、ハステロイX（登録商標：Ni-22Cr-1.5Co-9Mo-0.6W-18.5Fe）、および、インコネル625（登録商標：Ni-21.5Cr-9Mo-3.6Nb-0.2Al-0.2Ti-2.5Fe）などを用いることができる。また、コバルト基合金としては、例えば、Haynes

alloy 188 (登録商標: Co-22Cr-14W-3Fe), CoNiCrAlY (Co-32Ni-21Cr-8Al-0.5Y) や, CoCrAlY (Co-29Cr-6Al-0.8Y) 等を用いることができる。耐食層411の厚さは、例えば、 $20\mu\text{m}$ ~ 1mm 程度とされる。上述した溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。

[0131] 硬質粒子Kとしては、例えば、タングステンカーバイト (WC)、炭化クロム (Cr_3C_2)、炭化ケイ素 (SiC)、窒化ケイ素 (Si_3N_4)、立方晶窒化ホウ素 (Cbn)、および、酸化アルミニウム (Al_2O_3) などを用いることができる。硬質粒子Kの硬度は、例えば、ビッカース硬さで、タングステンカーバイトでHV2500程度、炭化クロムでHV1300程度である。さらに、炭化ケイ素でHV2400程度、窒化ケイ素でHV1800程度、立方晶窒化ホウ素でHV5000程度、酸化アルミニウムでHV2200程度となる。さらに、硬質粒子Kは、粒径が $5\sim 50\mu\text{m}$ に形成されている。ここで、硬質粒子Kの粒径が $5\mu\text{m}$ を下回ると、摩耗に対する抵抗が低下すると共に、成膜時に凝集しやすくなり、不均一な組織となりやすい。硬質粒子Kの粒径が $50\mu\text{m}$ を上回ると、耐食層411の層内に硬質粒子Kを分散させることが困難になる。

[0132] 耐摩耗層412aは、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対して、 $50\sim 90\text{vol}\%$ の硬質粒子Kを含んでいる。言い換えれば、耐摩耗層412aは、 $10\sim 50\text{vol}\%$ のニッケル基合金、又は、コバルト基合金を含んでいる。耐摩耗層412aの層内において、複数の硬質粒子Kは、均一に分散するようにして配置されている。ここで、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対する硬質粒子Kの割合が $50\text{vol}\%$ を下回ると、流体Gに含まれる固形物が硬質粒子Kに衝突する確率が低下して耐摩耗層412aの摩耗を十分に低減できない。、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金に対する硬質粒子Kの割合が $90\text{vol}\%$ を上回ると、耐摩耗層412aの殆んどが硬質粒子Kとなるため、耐摩耗層412aの緻密さが低下し過ぎて、

腐食性の流体Gに対して十分な耐食性能を発揮できなくなる。

[0133] 耐摩耗層412aは、溶射によって形成することができる。この溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。この溶射で用いる溶射材は、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に対して、硬質粒子Kを予め混合したものをを用いることができる。このように硬質粒子Kを、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に対して上述した割合（v o l %）で混合する。

[0134] 次に、この第五実施形態におけるコーティング層の製造方法について図面を参照しながら説明する。ここで、第五実施形態のコーティング層410aの製造方法は、第四実施形態と耐摩耗層形成工程が異なるだけであるので、第四実施形態の図16を援用して説明する。

図18は、この発明の第五実施形態におけるコーティング層の製造方法の処理フローである。

まず図16に示すように、第四実施形態と同様に耐食層形成工程（ステップS401）を行う。次いで、耐摩耗層形成工程（ステップS402）を行う。

図18に示すように、耐摩耗層形成工程（ステップS402）においては、まず、溶射材を作成する（ステップS403；溶射材作成工程）。より具体的には、ニッケル基合金の粉末（例えば、平均粒径50 μ m程度）、又は、コバルト基合金の粉末（例えば、平均粒径50 μ m程度）に、これらニッケル基合金、および、コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された硬質粒子Kを50～90 v o l %（例えば、75 v o l %）混合する。

[0135] 次いで、作成した溶射材を、母材409の表面に溶射する（ステップS404；溶射工程）。

溶射の方法としては、例えば、低圧プラズマ溶射、大気圧中におけるプラズマ溶射、および、超高速溶射等、種々の溶射方法を採用できる。この溶射によって、母材409の表面を覆うようにして、例えば、20 μ m～1mm

程度の耐摩耗層 4 1 2 a を形成する。これにより、層内に硬質粒子 K が一様に分散された耐摩耗層 4 1 2 a が形成される。

[0136] したがって、第二実施形態によれば、耐摩耗層 4 1 2 a のニッケル基合金、又は、コバルト基合金の層内に硬質粒子 K が含まれることによって、腐食性の流体 G に含まれる固形物 S が耐摩耗層 4 1 2 a の表面に衝突した場合に、耐摩耗層 4 1 2 a の硬質粒子 K にはじかれる。このように層内に硬質粒子 K を含むことで、耐摩耗層 4 1 2 a 自体の硬度を増加させることができる。そのため、流体 G に含まれる固形物 S の衝突による耐食層 4 1 1 の摩耗を抑制できる。

その結果、固形物 S を含む腐食性の流体 G を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。

[0137] さらに、耐摩耗層 4 1 2 a が、50～90 vol % の硬質粒子 K を含むので、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金による耐食性を確保しつつ、流体 G に含まれる固形物 S が衝突することによる耐摩耗層 4 1 2 a の摩耗を、より効果的に抑制できる。

さらに、硬質粒子 K が、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つから形成されているため、硬質粒子 K の硬度をニッケル基合金、コバルト基合金よりも高くして流体 G に含まれる固形物 S が衝突することによる耐摩耗層 4 1 2 a の摩耗を、より効果的に抑制できる。

[0138] さらに、ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、硬質粒子 K を混合して溶射材を作成し、この溶射材を母材 4 0 9 に吹き付けるだけで耐摩耗層 4 1 2 a を形成することができる。そのため、耐食性、および、耐摩耗性に優れた耐摩耗層 4 1 2 a を容易に形成することができる。

[0139] この発明は、上述した第四、第五実施形態に限定されるものではなく、この発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上述した第四、第五実施形態に種々の変更を加えたものを含む。すなわち、第四、第五実施形態で挙げた具体的な形状や構成等は一例にすぎず、適宜変更が可能である。

[0140] 例えば、上述した第四、第五実施形態においては、コーティング層410、410aがインペラ405、405aの表面に形成される場合について説明した。しかし、コーティング層410、410aを形成する箇所は、流体が流れる箇所であれば良く、インペラ405、405aの表面に限られない。例えば、コーティング層410、410aを、流体が流れる流路の内壁に形成するようにしても良い。また、コーティング層410、410aは、圧縮機が軸流圧縮機の場合には、動翼、および、静翼等の表面に形成される。

[0141] さらに、上述した第四、第五実施形態においては、硬質粒子Kが、タングステンカーバイト、窒化ケイ素、炭化ケイ素、炭化クロム、アルミナ、および、立方晶窒化ホウ素のうち、単一の粒子を用いる場合を例示した。しかし、硬質粒子Kは、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素の各粒子のうち、複数種類の粒子を混ぜて使用しても良い。

産業上の利用可能性

[0142] この発明は、コーティング層、圧縮機、コーティング層の製造方法、インペラ、インペラの製造方法に適用でき、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保することができる。さらに、固形物を含む腐食性の流体を取り扱う際の耐腐食性、および、耐摩耗性の両方を十分に確保しつつ、信頼性、および、製造性の低下を抑制することができる。

符号の説明

- [0143] 1 圧縮機
2 ケーシング
3 回転軸
3a スラストカラー
4 軸受部
5 インペラ
9 母材

- 1 0 コーティング層
- 1 1 耐食層
- 1 2 耐摩耗層
- 2 0 ディスク部
- 2 1 ブレード部
- 2 2 曲面
- 2 3 リーディングエッジ（前縁部）
- 2 4 湾曲部
- 3 0 第一領域
- 3 1 第二領域
- 4 1 ジャーナル軸受
- 4 2 スラスト軸受
- 2 0 5 インペラ
- 2 0 5 a インペラ
- 2 0 9 母材
- 2 1 0 コーティング層
- 2 1 0 a コーティング層
- 2 1 1 耐食層
- 2 1 1 a 耐食層
- 2 1 2 耐摩耗層
- 2 1 2 a 耐摩耗層
- 3 0 5 インペラ
- 3 0 9 母材
- 3 1 0 コーティング層
- 3 1 1 耐食層
- 4 0 5 インペラ
- 4 0 5 a インペラ
- 4 0 9 母材

4 1 0 コーティング層

4 1 0 a コーティング層

4 1 1 耐食層

4 1 2 耐摩耗層

4 1 2 a 耐摩耗層

請求の範囲

- [請求項1] 母材上に積層されるニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層と、
前記耐食層の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成された耐摩耗層と、を備えるコーティング層。
- [請求項2] 請求項1のコーティング層を備える圧縮機。
- [請求項3] 母材上にニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程と、
前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金の表面にクロム拡散浸透処理を施す耐摩耗層形成工程と、を含むコーティング層の製造方法。
- [請求項4] ブレードの母材上に、耐食性を有するニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層と、前記耐食層の少なくとも一部に対してクロム拡散浸透処理を施すことによって形成される耐摩耗層と、を有するコーティング層と、を備え、
前記コーティング層は、
少なくとも前記ブレードの前縁部を含む第一領域に前記耐摩耗層を備え、
前記第一領域の表面のクロム濃度が、前記第一領域以外の第二領域の表面のクロム濃度よりも高くなるように形成されているインペラ。
- [請求項5] 前記第一領域の前記耐食層は、前記第二領域の前記耐食層よりもクロム濃度が高くなるように形成され、
前記第一領域、および、第二領域の両方に前記クロム拡散浸透処理による前記耐摩耗層が形成されている請求項4に記載のインペラ。
- [請求項6] 前記第一領域にのみ前記耐摩耗層を備える請求項4に記載のインペラ。
- [請求項7] 請求項4から6の何れか一項に記載のインペラを備える圧縮機。
- [請求項8] ブレードの前縁部を含む第一領域、および、前記第一領域以外の第

二領域に、前記第一領域のクロム濃度が第二領域のクロム濃度よりも高くなるように、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程と、

前記第一領域、および、前記第二領域の両方にクロム拡散浸透処理を施す耐摩耗層形成工程と、を含むインペラの製造方法。

[請求項9] ブレードの母材上に、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を積層する耐食層形成工程と、

前記ブレードの前縁部を含む第一領域と、前記第一領域以外の第二領域とのうち、前記第一領域にのみクロム拡散浸透処理を施す耐摩耗層形成工程と、を含むインペラの製造方法。

[請求項10] 前記第一領域を残して前記第二領域のみをマスキング処理するマスキング工程を含む請求項9に記載のインペラの製造方法。

[請求項11] 母材上に層状に形成されたニッケル基合金、又は、コバルト基合金からなる耐食層を備えるコーティング層であって、

前記耐食層は、前記耐食層を形成するニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を層内に有するコーティング層。

[請求項12] 前記耐食層は、

前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金に対して、50～90vol%の前記硬質粒子を含む請求項11に記載のコーティング層。

[請求項13] 前記硬質粒子は、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つ、または二つ以上から形成された粒子を含む請求項11又は12に記載のコーティング層。

[請求項14] 請求項11から13の何れか一項に記載のコーティング層を備える圧縮機。

[請求項15] ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、前記ニッ

ケル基合金、および、前記前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を混合して溶射材を作成する溶射材作成工程と、

前記溶射材を母材の表面に溶射する溶射工程と、を含むコーティング層の製造方法。

[請求項16] 母材上に溶射により形成されたニッケル－アルミニウム合金からなる耐食層と、

前記耐食層を覆うように形成されて、前記ニッケル－アルミニウム合金よりも耐摩耗性の高い材料を含む耐摩耗層と、を備えるコーティング層。

[請求項17] 前記耐摩耗層は、前記耐食層の表面にクロム拡散浸透処理を施すことで形成されている請求項16に記載のコーティング層。

[請求項18] 前記耐摩耗層は、ニッケル基合金、又は、コバルト基合金を備えるとともに、前記ニッケル基合金、および、前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を層内に有する請求項16に記載のコーティング層。

[請求項19] 前記耐摩耗層は、
前記ニッケル基合金、又は、前記コバルト基合金に対して、50～90vol%の前記硬質粒子を含む請求項18に記載のコーティング層。

[請求項20] 前記硬質粒子は、タングステンカーバイト、炭化クロム、アルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ素、および、立方晶窒化ホウ素のうち、少なくとも一つから形成された粒子を含む請求項18又は19に記載のコーティング層。

[請求項21] 請求項16から20の何れか一項に記載のコーティング層を備える圧縮機。

[請求項22] 母材上にニッケル－アルミニウム合金で耐食層を形成する耐食層形成工程と、

前記耐食層を覆うようにニッケル－アルミニウム合金よりも耐摩耗性の高い材料を含む耐摩耗層を形成する耐摩耗層形成工程と、を含むコーティング層の製造方法。

[請求項23]

前記耐摩耗層形成工程は、

前記ニッケル－アルミニウム合金の表面にクロム拡散浸透処理を施すクロム拡散浸透処理工程を含む請求項22に記載のコーティング層の製造方法。

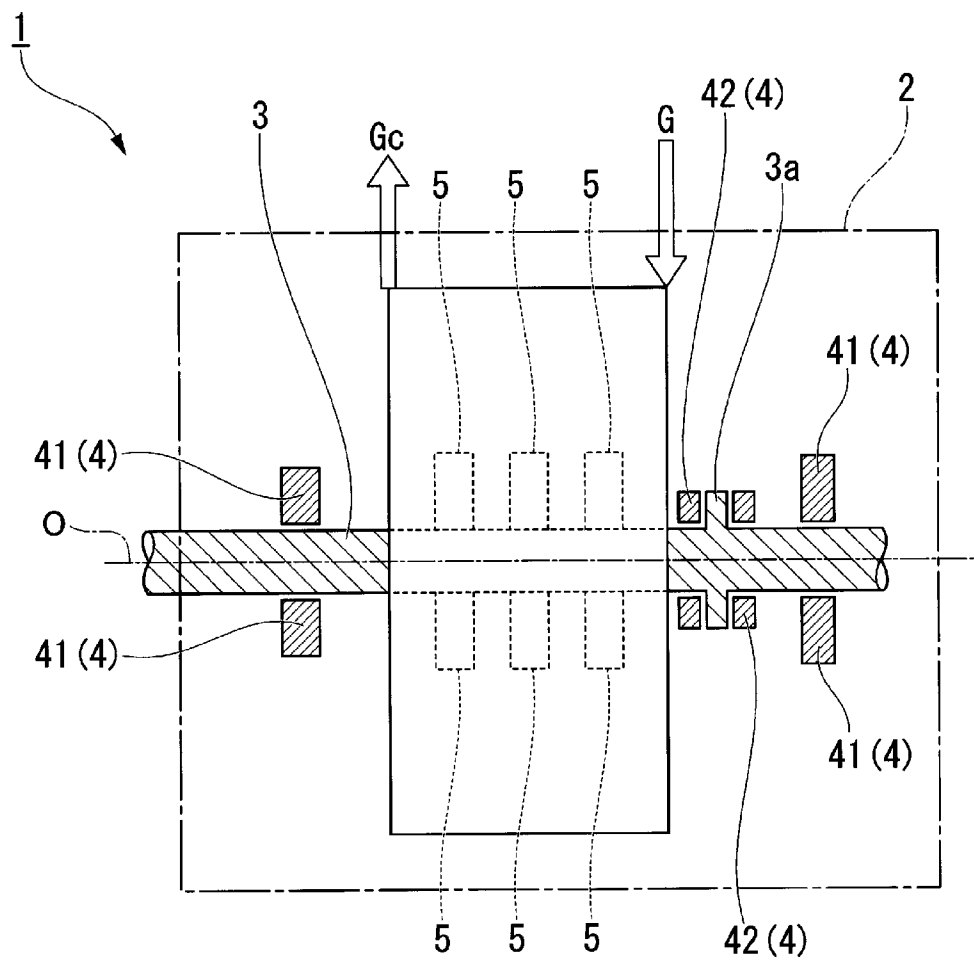
[請求項24]

前記耐摩耗層形成工程は、

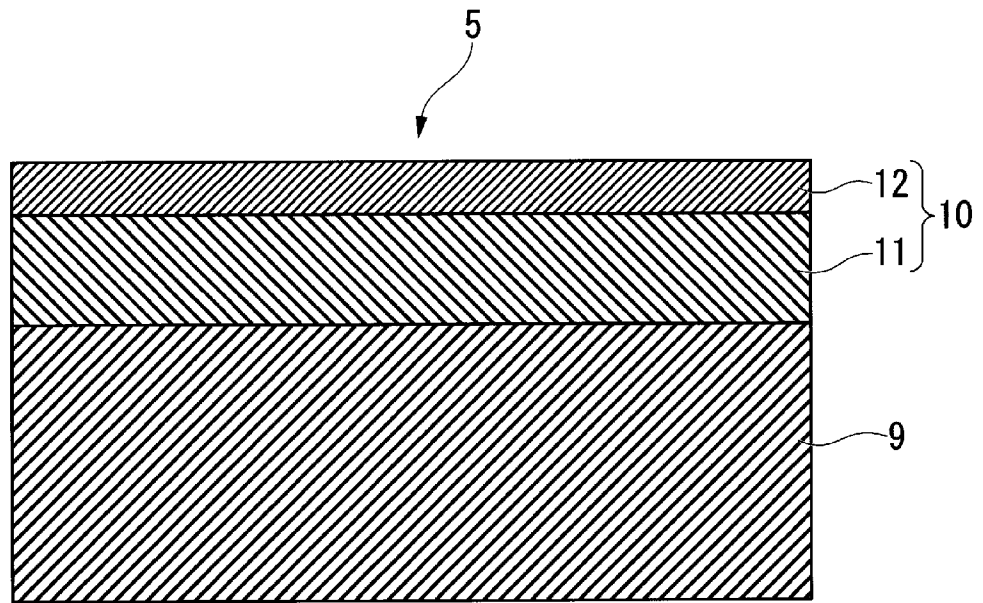
ニッケル基合金の粉末、又は、コバルト基合金の粉末に、前記ニッケル基合金、および、前記前記コバルト基合金よりも硬度の高い材料から形成された複数の硬質粒子を混合して溶射材を作成する溶射材作成工程と、

前記溶射材を、前記耐食層の表面に溶射する溶射工程と、を含む請求項22に記載のコーティング層の製造方法。

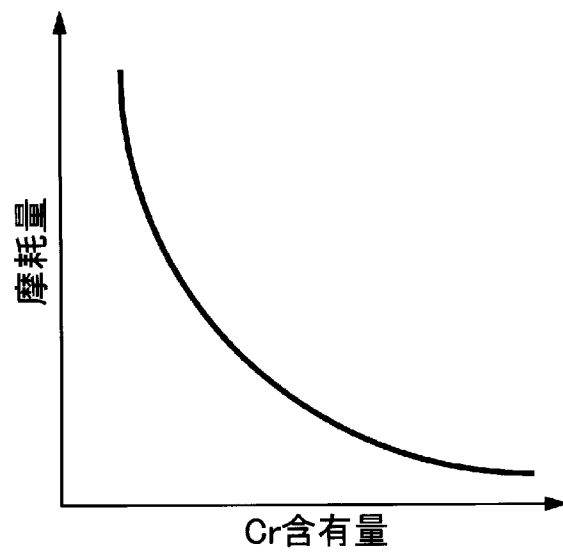
[図1]

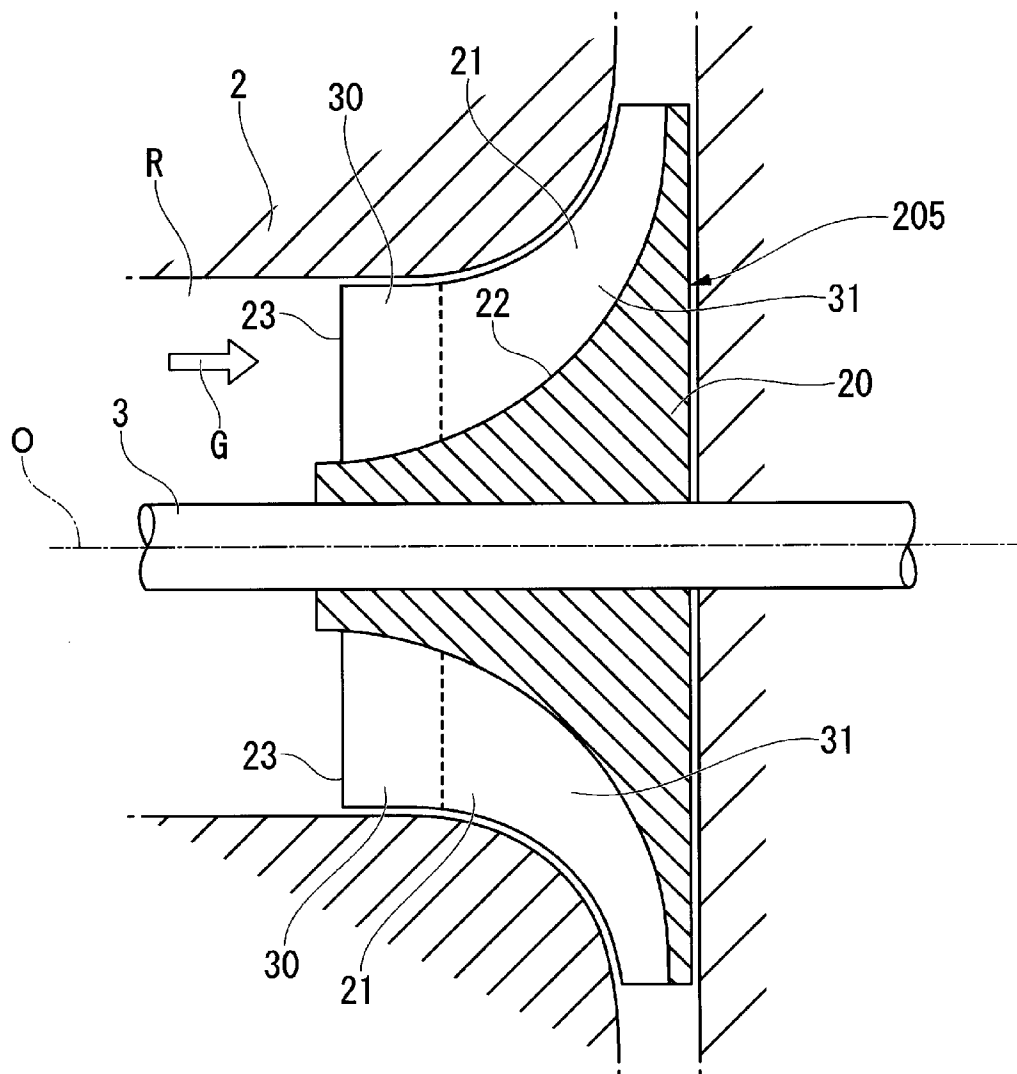


[図2]

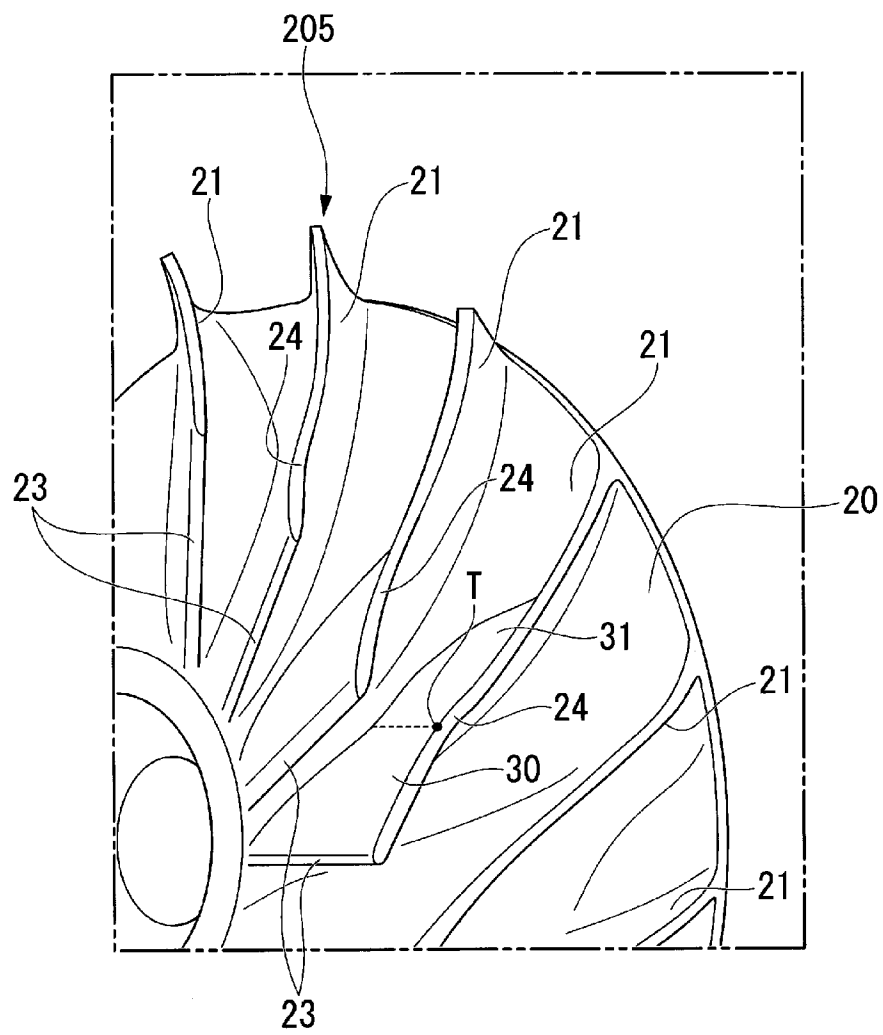


[図3]

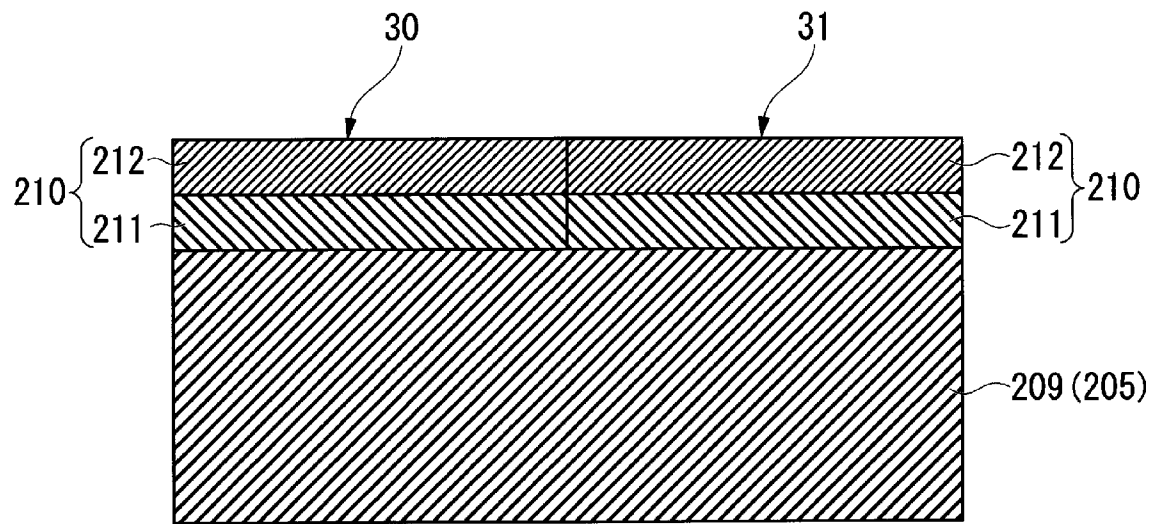




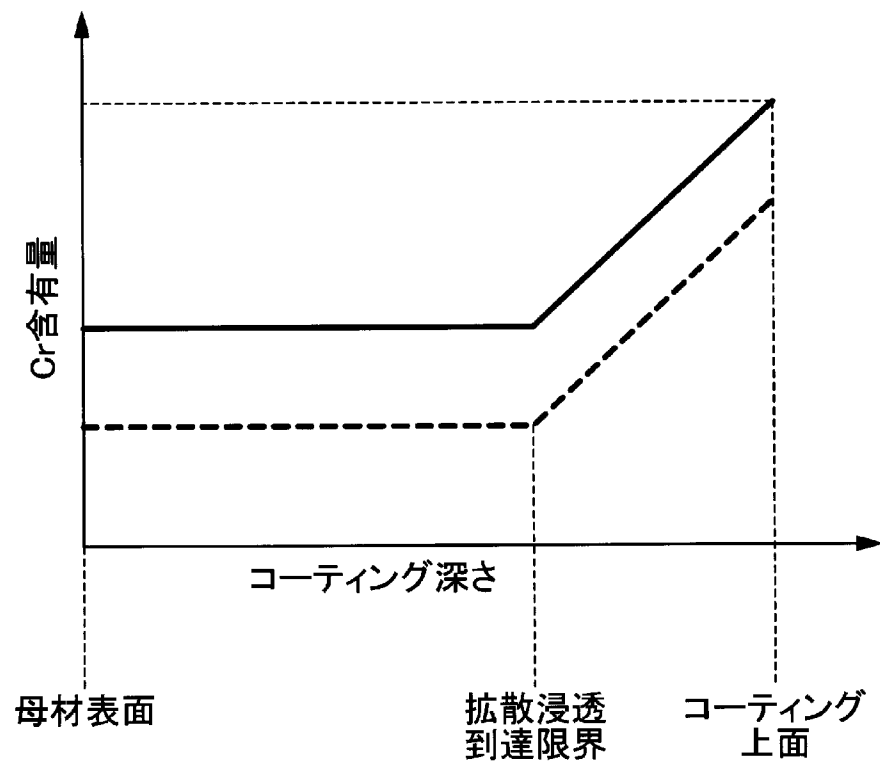
[図6]



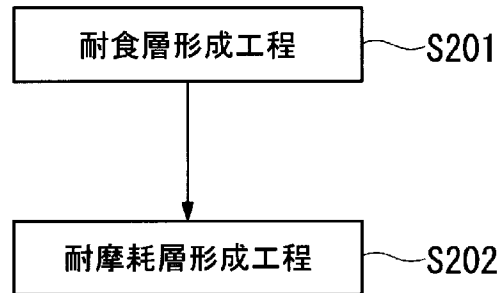
[図7]



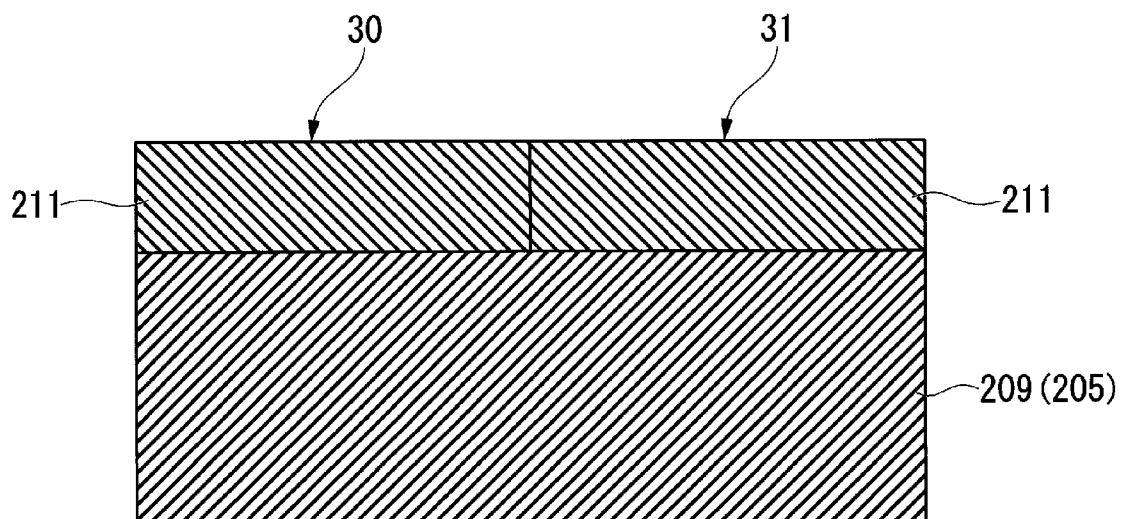
[図8]



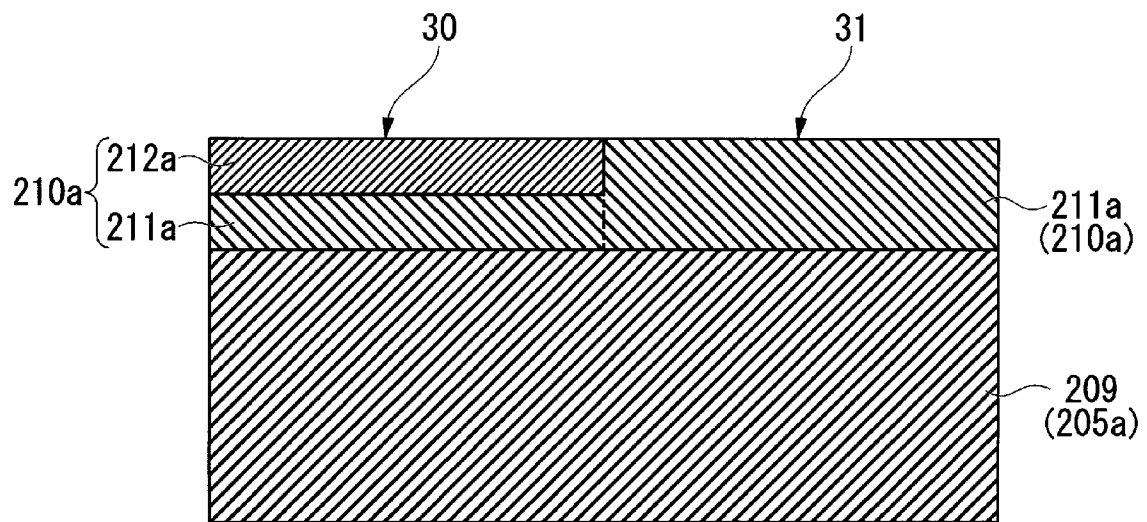
[図9]



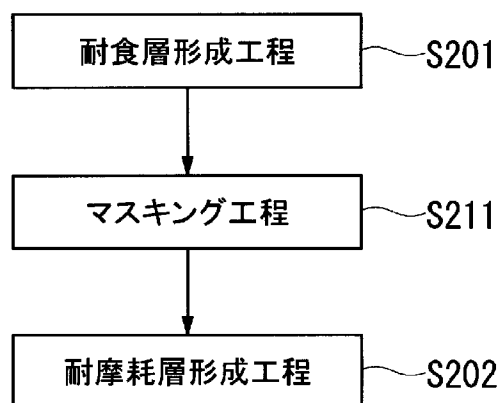
[図10]



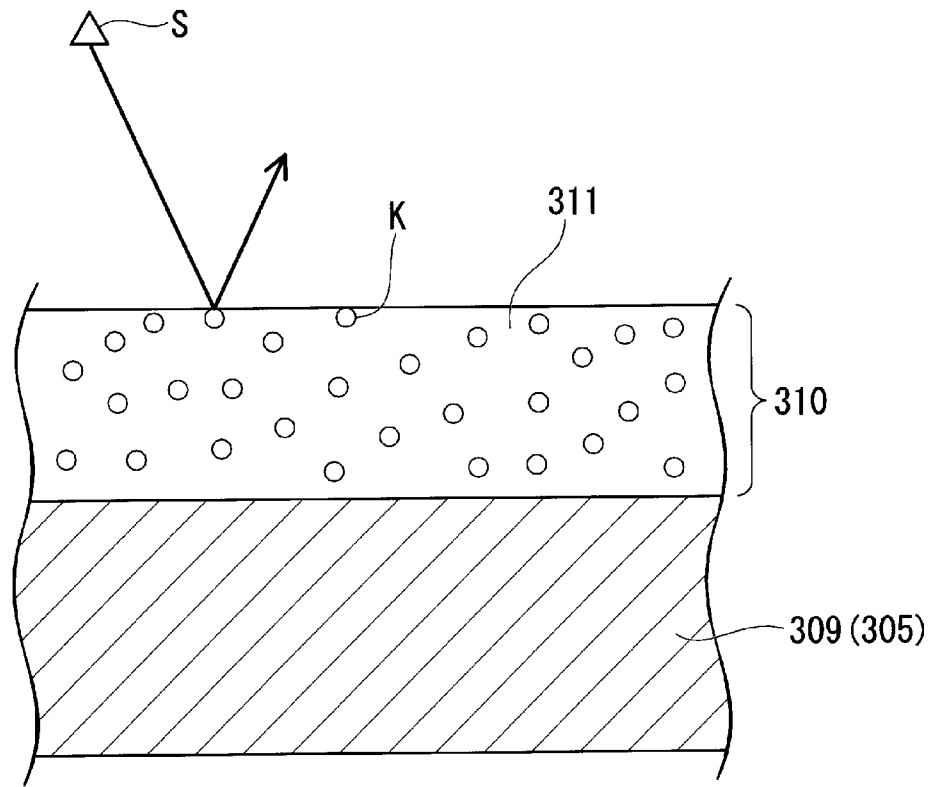
[図11]



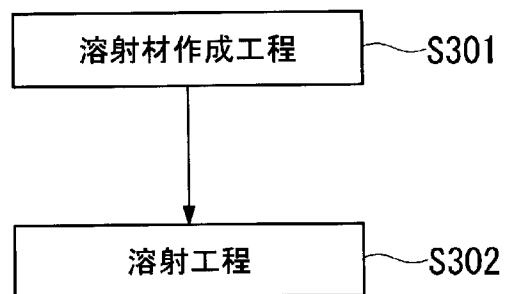
[図12]



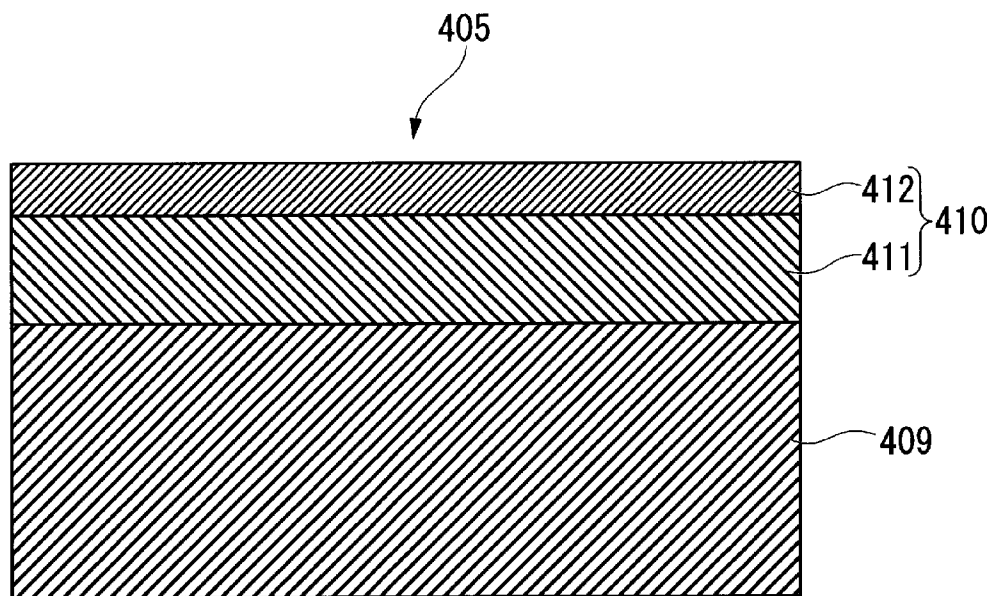
[図13]



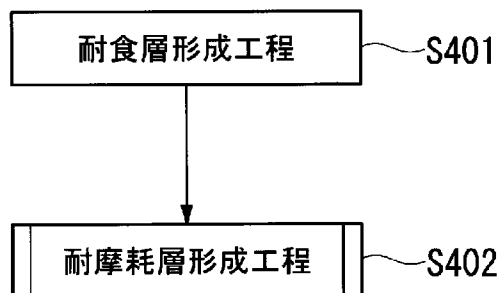
[図14]



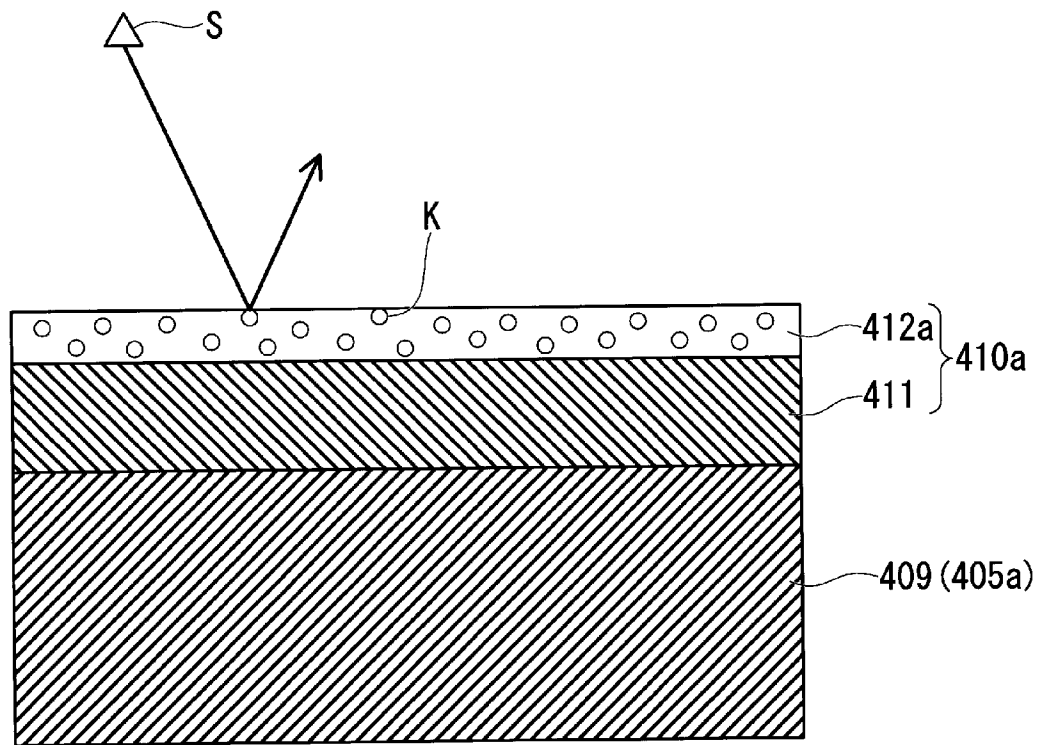
[図15]



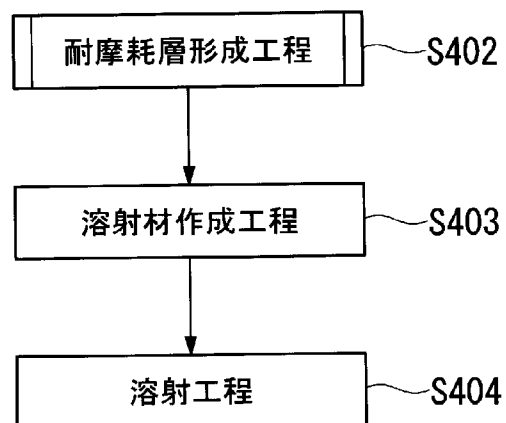
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082392

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C28/02(2006.01)i, C23C4/08(2016.01)i, C23C4/10(2016.01)i, C23C10/10(2006.01)i, F04D29/28(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23C28/02, C23C4/08, C23C4/10, C23C10/10, F04D29/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X <u>Y</u>	JP 2002-106360 A (Toshiba Corp.), 10 April 2002 (10.04.2002), claims; paragraphs [0002], [0023] to [0048] (Family: none)	1, 3-6, 8-13, 15-20, 22-24 <u>2, 7, 14, 21</u>
X <u>Y</u> A	JP 2010-121211 A (General Electric Co.), 03 June 2010 (03.06.2010), claims; paragraph [0002] & US 2010/0124616 A1 claims; paragraph [0002] & DE 102009044487 A1 & CN 101915127 A	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 December 2015 (14.12.15)

Date of mailing of the international search report
22 December 2015 (22.12.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082392

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2006-291307 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 26 October 2006 (26.10.2006), claims; paragraphs [0002], [0035] & US 2006/0228541 A1 claims; paragraphs [0005], [0036] & DE 102006006025 B3	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24
X Y A	JP 2009-542908 A (Exxonmobil Research and Engineering Co.), 03 December 2009 (03.12.2009), claims & US 2008/0003125 A1 claims & JP 5286258 B2 & WO 2008/005150 A1 & EP 2052093 A1 & AR 61725 A1 & CA 2655172 A1 & KR 10-2009-0026201 A & CN 101490292 A & ZA 200810858 A & RU 2009101873 A & AU 2007269987 A1 & MX 2008016318 A & TW 200815575 A & BR PI0713068 A2	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C23C28/02(2006.01)i, C23C4/08(2016.01)i, C23C4/10(2016.01)i, C23C10/10(2006.01)i,
F04D29/28(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C23C28/02, C23C4/08, C23C4/10, C23C10/10, F04D29/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X <u>Y</u>	JP 2002-106360 A（株式会社東芝）2002.04.10, 特許請求の範囲, 【0002】, 【0023】 - 【0048】（ファミリーなし）	1, 3-6, 8-13, 15-20, 22-24 <u>2, 7, 14, 21</u>
X <u>Y</u> A	JP 2010-121211 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ） 2010.06.03, 特許請求の範囲, 【0002】 & US 2010/0124616 A1 請求の範囲, [0002] & DE 102009044487 A1 & CN 101915127 A	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 4 . 1 2 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 2 . 1 2 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

國方 康伸

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 2 5

4 E

9 4 4 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X <u>Y</u> A	JP 2006-291307 A (三菱重工業株式会社) 2006. 10. 26, 特許請求の範囲, 【0002】, 【0035】 & US 2006/0228541 A1 請求の範囲, [0005], [0036] & DE 102006006025 B3	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24
X <u>Y</u> A	JP 2009-542908 A (エクソンモービル リサーチ アンド エンジ ニアリング カンパニー) 2009. 12. 03, 特許請求の範囲 & US 2008/0003125 A1 請求の範囲 & JP 5286258 B2 & WO 2008/005150 A1 & EP 2052093 A1 & AR 61725 A1 & CA 2655172 A1 & KR 10-2009-0026201 A & CN 101490292 A & ZA 200810858 A & RU 2009101873 A & AU 2007269987 A1 & MX 2008016318 A & TW 200815575 A & BR PI0713068 A2	11-15 <u>2, 7, 14, 21</u> 1, 3-6, 8-10, 16-20, 22-24