

(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
2017 年 6 月 8 日(08.06.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/094728 A1

- (51) 国際特許分類:
C23C 28/00 (2006.01) F02F 3/10 (2006.01)
C23C 26/00 (2006.01) F16J 1/02 (2006.01)
F02F 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/085433
- (22) 国際出願日: 2016 年 11 月 29 日(29.11.2016)
- (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 2015-233208 2015 年 11 月 30 日(30.11.2015) JP
- (71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.)
[JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: 杉本 一等(SUGIMOTO, Ittō); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 川中 啓嗣(KAWANAKA, Hirotsugu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 高橋 智一(TAKAHASHI, Norikazu); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番

地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 佐々木 正登(SASAKI, Masato); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

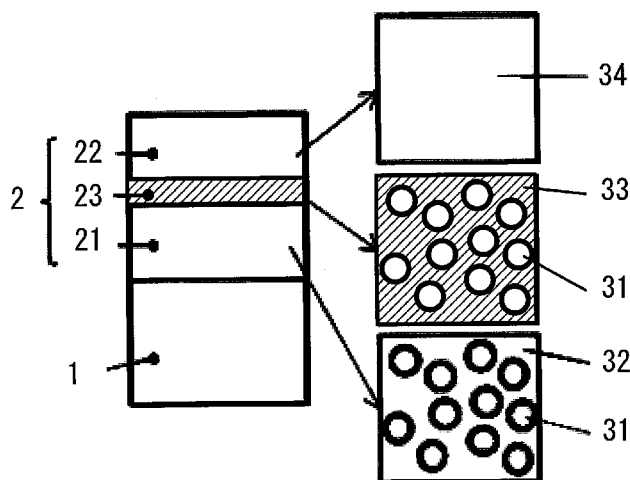
- (74) 代理人: 永井 冬紀(NAGAI, Fuyuki); 〒1080075 東京都港区港南一丁目 6 番 4 1 号 品川クリスタルスクエア 9 0 1 永井特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KW, 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

[続葉有]

(54) Title: PISTON FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 内燃機関用ピストンおよび内燃機関用ピストンの製造方法

【図1】



(57) Abstract: In a piston for an internal combustion engine, the piston parent material of the piston crown surface has, from the outer surface in the depth direction, a first layer that is a layer of a first metal or a layer containing the first metal, a second layer containing an oxygen-containing second metal or an oxide of the second metal and a material having low thermal conductivity, and a third layer that is a mixture of a third metal and a material having low thermal conductivity.

(57) 要約: 内燃機関用ピストンは、ピストン冠面のピストン母材に、表面側から深さ方向に向かって、第1の金属の層または第1の金属を含有する層による第1層、酸素を含有する第2の金属または第2の金属の酸化物と、低熱伝導率材料とを含有する第2層、および、第3の金属と低熱伝導率材料との混合物による第3層、を有する表面処理部を設けた。



ロツパ (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))

明 細 書

発明の名称：

内燃機関用ピストンおよび内燃機関用ピストンの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は内燃機関用ピストンと内燃機関用ピストンの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、内燃機関用ピストンの冠面上の一部であって、燃料が液体で衝突する燃料衝突部を含み且つ主たる燃焼領域を含む領域が、低熱伝導率かつ低比熱の部材または構造体により構成されているものが知られている。このピストンの構成によれば、燃料衝突部での昇温効果を高めてピストンに衝突する燃料の燃焼を促進し、ピストン冠面への燃料の付着を減少させデポジットやスモークの排出を抑制することができるとされている（特許文献１）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：日本国特開平１１－１９３７２１号公報

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、特許文献１に開示された内燃機関用のピストンにおいては、低熱伝導率の部材の具体的な構成方法に関して記載されていない。また、低熱伝導率部材とピストン母材との間に発生する温度分布により、低熱伝導率部材とピストン母材との界面における接合あるいは接着強度が十分でないという問題がある。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第１の態様によれば、内燃機関用ピストンは、ピストン冠面のピストン母材に、表面側から深さ方向に向かって、第１の金属の層または前記第１の金属を含む層による第１層、酸素を含有した第２の金属または前記第

2の金属の酸化物と、低熱伝導率材料とを含む第2層、および、第3の金属と前記低熱伝導率材料との混合物による第3層を有する表面処理部が設けられている。

本発明の第2の態様によれば、内燃機関用ピストンの製造方法は、冠面に表面処理部を備えた内燃機関用ピストンの製造方法において、前記表面処理部の形成工程は、前記ピストンのピストン母材の冠面に凹部を形成する凹部形成工程と、前記凹部に粉末または粉末の成形体である第1成形材料を充填する第1充填工程と、前記第1成形材料に回転工具を当接させて前記第1成形体材料を摩擦熱により軟化させ前記凹部に前記第1成形材料を固相接合し、かつ、前記第1成形材料と前記ピストン母材との攪拌部を形成する第1攪拌接合工程と、前記第1攪拌接合工程により固相接合されて形成された形成層の上に、粉末または粉末の成形体である第2成形材料を充填する第2充填工程と、前記第2成形材料に回転工具を当接させて前記第2成形材料を摩擦熱により軟化させ前記凹部に前記第2成形材料を固相接合し、かつ、前記第2成形材料と前記ピストン母材との攪拌部を形成する第2攪拌接合工程と、を少なくとも有する。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、上述の構成の表面処理部を有することで優れた断熱特性によりデポジットやスモークの排出が抑制され燃費が良好な内燃機関用ピストンを提供できる。また、表面処理部とピストン母材とは強固に接合されるため、耐久性に優れた内燃機関用ピストンを提供できる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係る内燃機関用ピストンの断面構造を示す概念図である。

[図2]図2は、本発明の別の実施形態に係る内燃機関用ピストンの断面構造を示す概念図である。

[図3]図3は、本発明の一実施形態に係る表面処理部の断面構造を示す図であり、図3（A）は、表面処理部の全層が同じ面積のもの、図3（B）は、表

面処理部の各層の面積が互いに異なるものを示す。

[図4]図4は、本発明の一実施形態に係る表面処理部の断面構造を示す図である。

[図5]図5は、本発明の一実施形態に係る内燃機関用ピストンの製造方法の一例を示すフローチャートである。

[図6]図6は、本発明の一実施形態に係る内燃機関用ピストンの製造方法において、摩擦攪拌接合により表面処理部を形成する手順を示す概念図であり、図6（A）および図6（C）は材料充填、図6（B）および図6（D）は回転工具の当接、図6（E）は形成された表面処理部を示す。

[図7]図7は、実施例1－2として形成した表面処理部の断面を光学顕微鏡により撮影した像である。

[図8]図8は、実施例1－2として形成した表面処理部の最下層断面を走査型電子顕微鏡により撮影した像であり、図8（B）は、図8（A）に示された破線で囲まれた領域をより高倍率で撮影した像である。

[図9]図9は、実施例1－2として形成した表面処理部の断面を走査型電子顕微鏡により撮影した像であり、図9（B）は、図9（A）に示された破線で囲まれた領域をより高倍率で撮影した像である

[図10]図10は、実施例1－2として形成した表面処理部に対して、エネルギー分散型X線分光法により表面処理部表面から深さ方向に直線状に酸素分析した結果を示すグラフである。

[図11]図11は、表面処理部の断熱特性の評価方法を示す概念図である。

[図12]図12は、断熱特性の評価における、レーザー光の出射パターンと表面処理部の表面温度との関係を示す概念図であり、図12（A）は、レーザー光源から表面処理部に向けて出射させたレーザー光の出射パターンを示し、図12（B）は、表面処理部の表面温度を赤外線カメラにより測定した結果を示す。

[図13]図13は、表面処理部を形成するために用いた接合用工具とピストンの配置関係を説明する図であり、図13（A）は、ピストン冠面を上方から

見た平面図、図 13 (B) は、図 13 (A) の側面図である。

[図14]図 14 は、実施例 1-1～実施例 1-8 における、粉末 51 の材料、粉末 52 の材料、および回転工具の材料の組み合わせを示す表である。

[図15]図 15 は、実施例 1-9～実施例 1-17、および比較例 1-1、1-2 の粉末 51 および 52 の材料と、これらの材料を用いて形成された表面処理部に対する引張試験の結果を示す表である。

[図16]図 16 は、実施例および比較例の試験片について、断熱特性の評価において測定されたピーク温度 T1 および T3 を示す表である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。図 1 は、本発明の一実施の形態に係る内燃機関用ピストンの断面構造を示す概念図である。図 1 に示す通り、この内燃機関用ピストンの冠面には、複数の層からなる表面処理部が構成されている、この表面処理部は、表面側から深さ方向に向かって、第 1 の金属の層または第 1 の金属を含む層 22 (以下、第 1 層と呼ぶ)、酸素を含有した第 2 の金属または第 2 の金属の酸化物と、低熱伝導率材料との混合物による層 23 (以下、第 2 層と呼ぶ)、および、第 3 の金属と低熱伝導率材料との混合物による層 21 (以下、第 3 層と呼ぶ) を有する。

[0009] 内燃機関用ピストンは、通常、アルミニウム合金に代表される金属を加工して製造される。ピストン冠面においては、燃料の燃焼を促進するために、燃焼に関与する領域を十分に断熱して燃焼時の温度低下を防止することが望まれる。しかし、ピストン冠面に、断熱特性が高い低熱伝導率材料のみで被覆層を形成した場合、低熱伝導率材料とピストン母材との接着性あるいは接合性が不足して、両者の界面の接合強度を確保できないという課題がある。

[0010] また、ピストン冠面近傍における燃料の燃焼を促進するためには、燃焼に関与する領域を均一に高温化する必要がある。しかし、ピストン冠面に、断熱特性の高い低熱伝導率材料のみで被覆層を形成した場合、被覆層表面には局所的に高温となる領域が発生する傾向があるという問題がある。

- [0011] この点に関して、ピストン冠面に金属と低熱伝導率材料との複合材による単層を形成した場合、形成された層とピストン母材との間で十分な接合強度が得られ、かつ、燃焼により発生した熱はピストン母材内を伝導して、ピストン冠面を均一に加熱できる。しかし、ピストン母材内の熱伝導は高く、その結果、断熱特性が不足してピストン冠面を十分高い温度に保てないという問題がある。
- [0012] そこで、図1に示すように、第1層、第2層および第3層を有する表面処理部をピストン冠面に設けることで、上記の問題を解決できる。第2層は、酸素を含む金属または金属の酸化物と、低熱伝導率材料と、を含む材料により構成することで、低い熱伝導率を実現し、表面処理部の厚さ方向への熱伝導を抑制する機能を有する。また、表面処理部の表面の第1層は、その下部の第2層が熱伝導抑制機能を有するために均一な温度分布で高温化することができ、燃料の燃焼を促進することに寄与する。さらに、第3層は、ピストン母材との高い接合強度を得ると同時に、母材への熱伝導を抑制する機能を有する。
- [0013] 第3層に用いる金属としては、アルミニウム、マグネシウム、鉄、銅、亜鉛、チタン、ニッケルのいずれか1種類、またはこれらの金属のうちの少なくとも1種類を含む合金であることが好ましい。これらの金属は、ピストン母材に使用される金属材料と固相接合が可能な金属であり、ピストン母材への高い接合強度を得やすい。
- [0014] 上記の通り、ピストン母材は通常はアルミニウム合金であり、従って、ピストン母材に接する第3層に用いる金属としては、アルミニウムまたはアルミニウム合金であることが好ましい。アルミニウムあるいはアルミニウム合金は、固相接合法によりアルミニウム合金に対して高い接合強度を得ることができるからである。また、第1層に用いる金属としても、アルミニウムまたはアルミニウム合金であることが好ましい。これにより、第1層および第3層は、アルミニウム合金のピストン母材に対して固相接合法により高い接着強度で接合でき、かつ、表面処理部の表層で均一な加熱状態も得やすくな

る。

[0015] 図2は、本発明の別の実施形態に係る内燃機関用ピストンの断面構造を示す概念図である。図2に示す通り、この内燃機関用ピストンの冠面にも、複数の層からなる表面処理部が構成されている。本実施の形態においては、第1層は、金属と低熱伝導率材料との混合物による層である。このような構成により、表面処理部の断熱特性をさらに向上させることができる。

[0016] 第2層の、酸素を含有した状態または酸化物の状態として含まれる金属は、第3層に含まれる金属と同一であることが好ましい。本発明の実施形態に係る内燃機関用ピストンは、冠面に凹部を有した形状とし、この凹面を埋める構造で表面処理部を設けることも可能である。

[0017] 図3は、上記説明のピストン冠面11に設けた凹面に形成された表面処理部の断面構造を示す図である。図3(A)は、表面処理部を構成する複数の層の全てが同じ面積に形成されている場合を示している。また、図3(B)は、表面処理部を構成する複数のうち、第1層および第2層の一部が欠けている場合を示している。すなわち、表面処理部の各層の面積は互いに異なる。図3(A)、図3(B)いずれの場合にも、燃費が良好で耐久性に優れた内燃機関用ピストンが提供される。なお、図3(B)に示す構成では、上記の通り、第1層および第2層は表面処理部の領域全体に形成されていないが、第2層が表面処理部の表面積の50%以上に形成されていれば、燃費が良好で耐久性に優れた内燃機関用ピストンを提供することができる。

[0018] 上記各実施の形態の内燃機関用ピストンにおいては、表面処理部を形成するためにピストン冠面11に形成する凹部において、側面と底面とが接する接続部分は、曲面により構成されることが好ましい。このような曲面を構成することにより、凹部全域で成形材料を良好に固相接合することができる。この部分が曲面でない場合、成形材料が固相接着されない状態で接続部分に残り、固相接合不良の部分を生じる原因となる。

[0019] 第2層は、中央部における厚さに比べて周辺部における厚さが大きいことが好ましい。ピストンの周辺部ではピストン側面への熱伝導が発生する。第

2層の厚さを中央部に比べて周辺部で厚くすることで、ピストン側面への熱伝導を抑制し断熱効果を高めることができる。また、表面処理部の外周部には攪拌部を有する構造を有することが好ましい。攪拌部とは材料が組成流動した部分を指す。表面処理部の外周部は、接合強度を確保しにくい傾向があるが、ピストン母材の材料と表面処理部の材料とを攪拌させた領域を設けることで接合強度を確保することができる。

[0020] 第2層は一層であっても十分な断熱効果が得られるが、第2層を複数有する構成とすることにより、さらに高い断熱効果が期待でき好ましい。表面処理部の面積は、ピストン冠面側（上部側）に比べて、下部側（下部側）が小さいことが好ましい。

[0021] 図4は、第1層の下に第2層と第3層とが交互に3回繰り返すように設けた表面処理部の断面構造を示す。図4に示す通り、各層の面積は、上部に構成された層ほど大きい。このような構成とする利点は次の通りである。断熱効果は表面処理部の上部ほど高いことが好ましいが、反面、表面処理部の下部では、表面処理部の上部で遮断されずに伝わった熱を逃がす必要がある。この点について、表面処理部の下部の層の面積を小さくすることにより、遮断されずに伝わった熱の移動経路を確保することができる。

[0022] 表面処理部が形成される位置は特に限定されないが、燃料が噴射される領域近傍のピストン冠面であることが好ましい。燃料が噴射される領域では液体燃料が気化して燃焼するので、この位置に表面処理部を形成することにより、燃焼促進効果を高めることができる。

[0023] 低熱伝導率材料については特に限定されないが、ジルコニア、コージェライト、ムライト、シリコン、シリカ、雲母、タルク、ケイ酸塩ガラス、アクリルガラス、有機ガラス、シリカエアロゲル、中空のセラミックビーズ、中空のガラスビーズ、中空の金属球、有機珪素化合物、セラミック繊維のいずれか1種または複数種を組み合わせる用いることが好ましい。

[0024] 第2層および第3層において、含有する低熱伝導率材料の体積比率は45%以上であることが好ましい。低熱伝導率材料の体積比率が45%以上の場

合には、高い断熱特性が得られるため、ピストン冠面をより短時間で温度上昇させることが可能であり、これにより高い燃焼促進効果が期待できる。

[0025] 図5は、本発明の一実施形態に係る内燃機関用ピストンの製造方法の一例を示すフローチャートである。ステップS1ではピストンの鋳造を行う。ピストンの鋳造は、ダイキャスト法等の公知の方法により、アルミニウム合金製のピストンの粗材を鋳造する。続く、ステップS2では、一次機械加工を行い、ピストンの粗材に対して、ランド部の外径切削やピン穴加工等を含む所定の機械加工を施す。ピストン冠面に表面処理部を形成するための凹部は、ステップS1におけるピストン鋳造の際に鋳抜きにより形成してもよく、あるいはステップS2における一次機械加工の際に機械加工により形成してもよい。

[0026] ステップS3では、表面処理部を形成するための材料をピストン冠面に形成された凹部に充填する。この場合、材料は粉末の状態で充填してもよいし、あるいは、粉末に圧力を加えて固めた成形体（ブリケット）を作製し、この成形体を充填してもよい。

[0027] 次に、ステップS4では、凹部に充填された材料に回転工具を当接させた状態で所定の時間だけ回転させる。次に、ステップS5では、回転工具を凹部から引き抜く。ステップS3からステップS5の一連の工程により、摩擦攪拌接合（FSW：Friction-Stir-Welding）が行われる。ステップS3からステップS5の工程は、必要に層数に応じた回数だけ繰り返す。摩擦攪拌接合に関しては詳細を後述する。

[0028] ステップS6では、表面処理部が形成されたピストンを取り出し熱処理を施す。この熱処理は摩擦攪拌接合の際に材料が塑性流動したことに伴って発生した歪を除去し、表面処理部の強度を均一化することを目的とするものである。熱処理としては、例えば、溶体化時効処理や人工時効処理がある。ステップS6において熱処理を行った後、ステップS7で二次機械加工を施す。二次機械加工として、仕上げの切削加工を施し、製品としてのピストンが完成する。

[0029] ステップS 3～S 5について詳しく説明する。ステップS 3においては、まず、表面処理部のうちの第3層を形成するための材料をピストン冠面の凹部に充填する。次に、ステップS 4で上記の通り回転工具を回転させた後、ステップS 5で回転工具を凹部から引き抜く。これにより第3層が形成される。この時、第3層の表層は第2層となる。次に、ステップS 3に戻り、第1層を形成するための材料を第2層の上に充填する。続いて、ステップS 4で回転工具を回転させた後、ステップS 5で回転工具を凹部から引き抜く。これにより、第2層の上に第1層が形成される。なお、第2層の形成過程については詳細を後述する。

[0030] 上記の通り、ステップS 3～S 5の工程は、形成しようとする表面処理部の構成により必要に応じて繰り返す。例えば、図4に示されたような、第3層と第2層が交互に繰り返される構成の場合、その繰り返し数に応じた回数だけ、ステップS 3～S 5の工程を繰り返して第3層を形成する。これにより、第3層と第2層が交互に繰り返される構成となる。必要な繰り返し数の第3層と第2層が形成された後、ステップS 3～S 5により、最後に形成された第2層の上に第1層を形成する。

[0031] 図6は、ピストン冠面に表面処理部を形成するための、摩擦攪拌接合の手順の一例を示す概念図である。図6（A）は、ピストン冠面に形成された凹部に1回目の材料充填（粉末51の充填）が行われた状態を示す。すなわち、凹部に第3層を形成するための材料（粉末または粉末の成形体）が充填された状態を示す。

[0032] 図6（B）は、凹部に回転工具4を挿入し充填された材料に当接させた状態で回転させている状態を示す。これにより、第3層を形成するための材料は摩擦熱により軟化して凹部の底部および側部に摩擦攪拌接合される。すなわち、1回目の摩擦攪拌接合が行われる。この時、上記の通り、第2層も同時に形成される。

[0033] 図6（C）は、2回目の材料充填（粉末52の充填）が行われた状態を示す。すなわち、凹部に形成された第2層の上に第1層を形成するための材料

(粉末または粉末の成形体)が充填された状態を示す。図6(D)は、凹部に回転工具4を挿入し充填された材料に当接させた状態で回転させている状態を示す。これにより、第1層を形成するための材料は摩擦熱により軟化して既に形成されている第2層および凹部側部に摩擦攪拌接合される。すなわち、2回目の摩擦攪拌接合が行われる。図6(E)は、一連の工程により、ピストン冠面の凹部に表面処理部が形成された状態を示す。

[0034] 次に、摩擦攪拌接合について説明する。摩擦攪拌接合は金属と金属とを接合する固相接合手法の一つである。摩擦攪拌接合を行うには、回転工具を接合しようとする金属材料に押し当てた状態で回転させ、発生した摩擦熱により加熱することで、金属材料に組成流動を起こし(すなわち攪拌する)、金属材料を接合する。

[0035] 金属材料を接合するための別の方法として、アーク溶接などの溶融溶接法もある。しかし、溶融溶接法では、金属材料が溶融した後に凝固するという工程を経るため、接合部に凝固に伴う組織が形成され、強度特性などの劣化の原因となる。これに対して、摩擦攪拌接合では、材料の溶融(融解)・凝固が起きないため、上記のような強度問題が発生せず、材料をより強固に接合することが可能である。本発明に係る表面処理部は摩擦攪拌接合により形成することが好ましい。

[0036] また、摩擦攪拌接合は、大気中のように酸素を含む環境において、材料が酸化されることによる接合強度への悪影響をほとんど受けることなく金属材料を接合することが可能である。摩擦攪拌接合は、金属材料のみならず、金属を含む材料であれば、接合箇所に材料の酸化に伴う結合不良が発生することなく接合できる。

[0037] 摩擦攪拌接合においては、接合しようとする材料に回転工具を当接させて回転させる際、回転工具が当接している材料の表面においては、材料に含まれる金属に酸素が結びつきやすい状態となる。このため、接合された層の表層部は、酸素を含有した金属あるいは金属の酸化物が含まれる別の組成の層となる。

- [0038] すなわち、1回目の摩擦攪拌接合工程により第3層を形成する際、第3層の表層部は、酸素を含有する金属あるいは金属の酸化物と、低熱伝導率材料との混合物による層となる。すなわち、第2層を同時に形成することができる。その後、2回目の摩擦攪拌接合により、第1層を形成することができる。
- [0039] 従って、表面処理部の第1層の表層部にも酸素を多く含む領域が生成されることがある。このような領域が生成された場合には、二次機械加工工程として示される切削加工により除去することが可能である。なお、最表面の層（第1層）の摩擦攪拌接合工程を、アルゴンガス中や真空中などの酸素を含まない雰囲気を実施することにより、酸素を含む領域の生成を抑制することが可能である。
- [0040] 1回目の材料充填工程においては、金属と低熱伝導率材料とを含む混合粉末またはその成形体を使用する。これにより、図1や図2に示すように、低熱伝導率材料を分散させた第3層を形成することが可能である。
- [0041] アーク溶接などの熔融溶接法では、混合粉末やその成形体を用いて表面処理部を形成しようすると、金属と低熱伝導率材料とで融点や比重が異なるため、これらの材料が分離するという問題がある。この点についても、表面処理部を、機械的な攪拌作用のある摩擦攪拌接合により形成することにより、層全体にわたって金属と低熱伝導率材料とが均一に分散した層を形成することが可能である。
- [0042] 金属粉末と低熱伝導率材料粉末とを混合した材料を用いて摩擦攪拌接合を行う場合、金属粉末のみがピストン母材と接合することにより、形成された層はピストン母材に固定される。すなわち、低熱伝導率材料とピストン母材とは直接的に接合されない。このため、低熱伝導率材料の含有比率を決定する際には、接合強度に留意する必要がある。本発明者らの研究によれば、混合粉末中の低熱伝導率材料の体積比率は80%以下とすることが好ましい。体積比率が80%を超えた場合は接合強度が不足して、一旦形成した表面処理部が剥離するおそれがある。

[0043] (実施例 1)

ピストン冠面に見立てた試験片を作製し、その表面に表面処理部を形成する。ピストン母材の材料と同様のアルミニウム合金（4032-T6）から円盤状の試験片を作製し、その上面に直径30mm、深さ5mmの凹部を形成した。凹部に粉末51を所定量だけ凹部に充填した後、直径30mmの回転工具を800rpmで回転させながら荷重をかけて粉末51を試験片の凹部に押込んだ。回転工具の下端が凹部の底面から1.5mmの高さの位置となるように回転工具を所定時間保持した後、回転工具を凹部から引き抜いた。

[0044] 次に、粉末52を所定量だけ凹部に充填し、直径34mmの回転工具を800rpmで回転させながら荷重をかけた。これにより、試験片の凹部周辺を押し潰しながら粉末52を回転工具で押込んだ。回転工具を、その先端が凹部の底面から3.0mmの高さの位置となるように所定時間保持した後、回転工具を引き上げて摩擦攪拌接合を終了した。

[0045] 上記手順により、試験片の凹部には、厚さ約3.0mmの表面処理部が形成された。次に、表面処理部の表層を旋盤加工により0.1mm除去し、円盤状試験片の上面を平坦化した。なお、凹部の周囲には、回転工具を押し込んで加工したことにより、試験片母材のバリが形成されたが、旋盤加工によりバリは取り除いた。

[0046] 上記の粉末51および粉末52の材料を種々変更して試験片の凹部に複数種類の表面処理部を形成し、実施例1-1～実施例1-8とした。実施例1-1～実施例1-8における、粉末51および粉末52の材料と回転工具の材料は、図14に示す通りである。なお、粉末51とは1回目の材料充填工程により充填した粉末材料であり、粉末52とは2回目の材料充填工程により充填した粉末材料である。

[0047] 金属粉末としてはアトマイズ法により作製された粉末を用いた。図14において、Alは平均粒径30 μ mの純アルミニウム粉末、Mgは平均粒径30 μ mの純マグネシウム粉末、Cuは平均粒径30 μ mの純銅粉末、Znは

平均粒径 $50\ \mu\text{m}$ の純亜鉛粉末、Fe は平均粒径 $50\ \mu\text{m}$ の純鉄粉末、Ti は平均粒径 $30\ \mu\text{m}$ の純チタン粉末、および Ni は平均粒径 $30\ \mu\text{m}$ の純ニッケル粉末を表す。また、低熱伝導率材料としては、 ZrO_2 は、平均粒径 $30\ \mu\text{m}$ の球形に成形したイットリア安定化ジルコニアの粉末を表す。なお、図 14 に示された百分率の数値は、粉末材料全体に示す低熱伝導率材料の体積比率を表している。

[0048] 摩擦攪拌接合法に用いる回転工具は、接合しようとする材料に含まれる金属材料の種類により、その材料を選択することが好ましい。金属材料が、融点の比較的低い Al や Zn の場合には、工具鋼 SKD 61 を材料とする回転工具を用いることが可能である。

[0049] 金属材料が、反応性の高い Mg や融点の中程度の Cu の場合には、WC-Co 合金（タングステン・カーバイドとコバルトとの混合焼結材）からなる超硬合金を材料とする回転工具を用いることが好ましい。また、金属材料が、融点の高い Fe、Ti、Ni に対しては、窒化珪素を材料とする回転工具を用いることが好ましい。

[0050] 図 7 は、実施例 1-2 の表面処理部の断面を光学顕微鏡により撮影した像である。図 7 において、左側はピストンの側面に近い側であり、右側はピストンの中央部に近い側である。表面処理部として第 3 層 21 と第 1 層 22 が形成され、これらの層の間には第 2 層 23 が形成されているのがわかる。また、第 3 層および第 1 層において、低熱伝導率材料 31 としてのジルコニアが均一に分散していることがわかる。

[0051] また、図 7 からわかるように、第 2 層 23 の厚さに関して、ピストン中央部に近い左側では、ピストン中央部側の右側に比べて厚い。これは、摩擦攪拌接合を行う際、回転工具の外側では内側に比べて周速度が大きいために、より多くの摩擦熱が発生して高温になりやすく、また、酸素の取り込み量も多いために、第 2 層がより厚く形成される。

[0052] 図 8 および図 9 は、図 7 に示した実施例 1-2 の表面処理部の断面を走査型電子顕微鏡により撮影した像である。図 8 は、ピストン母材 1 と表面処理

部の最下層である第3層21の界面を拡大撮影したものであり、図8(B)は、図8(A)に示された破線で囲まれた領域をより高倍率で撮影した像である。また、図9は、第2層23を挟んで第1層、第2層および第3層を拡大撮影したものである。図9(B)は、図9(A)に示された破線で囲まれた領域を拡大した像である。

[0053] 図8からわかるように、ピストン母材1の材料であるアルミニウム合金と、表面処理部の最下層である第3層のアルミニウムとは完全に結合され、両者の界面は不明瞭である。すなわち、表面処理部の金属材料はピストン母材に一体化された構造となっていることがわかる。

[0054] 実施例1-1および実施例1-2のように、1回目の充填材料としての粉末51が含有する金属粉末をアルミニウムとすることで、形成される層は、アルミニウム合金製のピストン母材に対して高い密着強度で接合される。しかし、粉末51が含有する金属粉末がアルミニウム以外の金属であっても、アルミニウムと合金化あるいは金属間化合物を形成する材料であれば、形成される層は、アルミニウム合金製のピストン母材に対して十分な密着強度で接合される。実施例1-3～実施例1-8のように、例えば、マグネシウム、銅、鉄、亜鉛、チタン、ニッケルなどは使用可能である。

[0055] また、図9からわかるように、1回目の摩擦攪拌接合により形成された第3層と2回目の摩擦攪拌接合により形成された第1層との間には第2層が形成されていることが確認できる。

[0056] 図10は、実施例1-2として形成した表面処理部に対して、エネルギー分散型X線分光法により表面処理部表面から深さ方向に直線状に酸素分析した結果を示すグラフである。表面処理部の表面から約26 μm より深い領域で酸素濃度が高いことが分かる。この領域は第2層に対応しており、第2層には酸素が多く含まれることがわかる。

[0057] また、1回目の摩擦攪拌接合に用いる粉末51と2回目の摩擦攪拌接合に用いる粉末52とで、含有する金属材料が同種である場合、第1層と第2層、第2層と第3層の間の界面において、より高い密着性を得ることができる。

。第1層と第3層との間には、酸素を含む第2層が形成されるが、第1層と第3層とに含まれる金属材料が同種であれば、結晶構造の類似性から、より強固に結合した状態を得ることができる。

[0058] 表面処理部の密着強度を確認するため、JIS-H8402に規定される引張密着性試験を実施した。試験片から、その表面に形成した表面処理部を含んで直径25mmの円柱状の部分を切り出す。直径25mmの円柱状治具を2個用意する。表面処理部が形成されている試験片上面と下面のそれぞれに、上記2個の治具のそれぞれをエポキシ系接着剤により接着する。

[0059] 引張試験機により2個の円柱状治具を引張り、表面処理部に対して垂直の方向に引張り応力を発生させ、表面処理膜が破断するかまたは試験片母材から剥離する際の応力を測定した。この応力を表面処理部の密着強度として評価した。なお、エポキシ系接着剤の破断強度は80MPaであるため、表面処理部の密着強度が80MPa以上である場合は、エポキシ系接着剤部分が破断する。このような場合には、表面処理部の真の密着強度は測定されないため、密着強度80MPa以上とした。実施例1-1～実施例1-8について評価したところ、いずれの場合もエポキシ樹脂部が破断した。すなわち、密着強度は80MPa以上であった。

[0060] 次に、粉末51および52において、低熱伝導率材料の種類とその含有率を変えたものを用いて摩擦攪拌接合により試験片に表面処理部を形成し、実施例1-9～実施例1-17とした。これらの試験片についても、実施例1-1～実施例1-8についての上記説明と同様の手順により密着強度を評価した。なお、各実施例における粉末51と52とは同じ材料を用いた。

[0061] また、比較例として、粉末51および52が、ジルコニアの含有率を体積比率で85%としてアルミニウムとジルコニアの混合粉末を用いて表面処理部を形成した比較例1-1と、シリカの含有率を体積比率で85%としてアルミニウムとシリカの混合粉末を用いて表面処理部を形成した比較例1-2についても評価を行った。実施例1-9～実施例1-17、および比較例1-1、1-2の作製に用いた粉末51および52と、これらの材料を用いて形成され

た表面処理部に対する引張試験の結果については図 15 に示す。

[0062] 図 15 に、実施例 1-9～実施例 1-17、および比較例 1-1、1-2 の表面処理部の密着強度の評価結果を示す（参考のために実施例 1-2 も併せて表示した）。図 15 からわかるように、低熱伝導率材料は体積比率で 80% まで含有させても、所定の密着強度が得られることがわかる。しかし、低熱伝導率材料を体積比率で 85% 含有させた場合は、摩擦攪拌接合により表面処理部が固定せず、粉末が脱落することがわかった。

[0063] 低熱伝導率材料の含有率が体積比率で 60% 以下の場合には、エポキシ系接着剤の部分が破断し、密着強度は 80 MPa 以上であった。低熱伝導率材料の含有率が体積比率で 70% の場合には、低熱伝導率材料がジルコニアの実施例 1-12 では、表面処理部の内部（層界面）で破断し、低熱伝導率材料がシリカの実施例 1-16 では、表面処理部は試験片母材との界面で破断した。これらの実施例の密着強度はそれぞれ、70 MPa と 65 MPa であった。低熱伝導率材料の含有率が体積比率で 75% の場合（実施例 1-13：低熱伝導率材料はジルコニア）、密着強度は 60 MPa 以上であった。

[0064] 低熱伝導率材料の含有率が体積比率で 80% の場合には、表面処理部は試験片母材との界面で破断した。低熱伝導率材料がジルコニアの実施例 1-14 では、密着強度は 18 MPa であった。また、低熱伝導率材料がシリカの実施例 1-17 では、密着強度は 21 MPa であった。すなわち、共に所定の密着強度を示した。なお、低熱伝導率材料の含有率は体積比率で 75% までの場合には大きな密着強度が得られるので、より好ましい。

[0065] （実施例 2）

表面処理部における断熱特性を評価した。具体的な評価方法について図 11 を参照して説明する。図 11 は評価方法を示す概念図である。真空チャンバ 62 の内部に表面処理部を形成した実施例および比較例の試験片 61 を配置し、レーザー光源 64 からレーザー光を出射させ、試験片 61 の表面諸部に照射する。この状態で、赤外線カメラ 63 により試験片の表面温度の変化を測定する。

[0066] 図12は、レーザー光の出射パターンと表面処理部の表面温度との関係を示す概念図である。図12(A)は、レーザー光源64から表面処理部に向けて出射させたレーザー光の出射パターンを示し、図12(B)は、その際の表面処理部の表面温度の時間的变化を赤外線カメラ63により測定した結果を示す。1回目のレーザー照射時に測定されたピーク温度をT1、3回目のレーザー照射時に測定されたピーク温度をT3とした。

[0067] 実施例および比較例の試験片について、測定されたピーク温度T1およびT3を図16の表に示す。図16において、実施例2-1～実施例2-8は、摩擦攪拌接合により試験片に表面処理部を形成したものである。なお、全ての試験片の表面には黒体塗料が塗布されている。

[0068] 比較例2-1は表面処理を施していない試験片である。比較例2-2は、摩擦攪拌接合によらずに厚さ2.9mmのAl-55%ZrO₂による層を1層形成したものである。比較例2-3は、試験片表面に陽極酸化により厚さ20μmのアルミナ層を設けたものである。比較例2-4は、試験片表面にプラズマ溶射により厚さ1.5mmのジルコニア層を設けたものである。なお、実施例および比較例による試験片の材料は全て、ピストン母材と同様のアルミニウム合金(4032-T6)を用いた。

[0069] 断熱特性の評価には内燃機関における燃焼反応を考慮する必要がある。以下、この点について説明する。内燃機関における燃焼反応を促進する上で、ピストン冠面の表面温度を上昇させることが重要である。例えば、軽油および重油の自然発火点は250℃～350℃であり、ガソリンを点火する際の温度は300℃程度である。よって、これらの燃料の燃焼を促進するためには、ピストン冠面の表面温度を300℃付近まで昇温させる必要がある。

[0070] 本実施例の断熱特性の評価においては、内燃機関の燃焼室内部の環境を模擬的に実現するために、比較例2-1の試験片にレーザー光を照射した際のピーク温度が約200℃となるようなレーザー光源64のレーザー光の出射条件を設定した。具体的には、図12(A)に示すように、強度800Wのレーザー光を1秒間照射した後、5秒間照射を停止するという照射パターン

を1セットとし、合計3セットの照射を比較例2-1の試験片に対して行った。

[0071] 試験片の表面温度は、レーザー光が照射されている間は上昇するが、レーザー光の照射が停止されると自然放熱により低下する。図12(B)は、このような温度変化の時間経過を示している。

[0072] レーザー光源64から上記のようにレーザー光を複数の試験片に照射して、その温度変化を測定し、表面温度を300℃以上とすることができるものを、昇温効果が優れたものとする。

[0073] 図16からわかる通り、比較例2-2の試験片は、T3が285℃まで上昇することから、ある程度の断熱効果は認められるものの十分ではない。これは第2層に相当する層が形成されていないことが原因と考えられる。また、比較例2-3の試験片では十分な断熱効果がない。すなわち、アルミナ層の断熱効果は十分でない。

[0074] これに対して、実施例2-1～実施例2-8の試験片ではいずれもT3が300℃以上であり、十分な断熱効果を示すことがわかる。すなわち、本発明の実施の形態に係る表面処理部により十分な断熱効果が発揮されていることがわかる。

[0075] 特に、実施例2-3～実施例2-8の試験片においては、レーザー照射1回目のピーク温度T1が300℃以上であり、より優れた断熱効果が認められる。これは、表層側の第1層にも体積比率で50%以上の低熱伝導率材料を含有させているためと考えられる。

[0076] なお、比較例2-4の試験片はT1が510℃、T3が650℃と非常に高い温度を示している。ただし、プラズマ溶射により形成したジルコニア層は、試験片母材との界面における密着性が悪い。また、断熱効果があまりに高い場合、温度上昇が過剰に局所的となる。このため、ピストン冠面にプラズマ溶射によりジルコニア被膜を形成しても、耐久性が悪く、また、良好な燃焼状態を得られないため、実用は困難である。

[0077] 一方、実施例2-1～実施例2-8に示す表面処理部をピストン冠面に施

した場合、表面処理部の深さ方向に対して遮熱効果を有するとともに、ピストン冠面の表面に沿って適度な熱伝導が得られるため、適切な範囲を均一に加熱して適切な温度分布とすることが可能であり、広い範囲で十分な燃焼促進の効果が得られる。

[0078] (実施例3)

ピストン冠面に表面処理部を形成する手順について説明する。図5に示したフローチャートに沿って、ステップS1として説明した通り、ピストンの鋳造を行った、ピストンの母材としてはアルミニウム合金(AC8A)を材料に用いた。次に、ステップS2として説明した通り、ピストンの粗材に対して一次機械加工を施した。次に、ステップS3～S5として説明した通り、材料充填、摩擦攪拌接合、および回転工具の引抜きの一連の工程を2回繰り返して、表面処理部を形成した。次に、ステップS6として熱処理を施した後、ステップS7として二次機械加工により仕上げ形状に加工し、所定のピストンを作製した。なお、粉末を充填する凹部は一次機械加工時に直径30mmで深さ5mmの穴状に加工することにより形成した。

[0079] 図13はピストンの粗材に対して摩擦攪拌接合により表面処理部を形成する際に使用した接合用工具70とピストンの配置関係を説明する図である。図13(A)は、ピストン冠面を上方から見た平面図、図13(B)は図13(A)の側面図である。

[0080] 接合用工具70は、ベース73、ベース73の上面に配置されてピストン1を支持するためのセンタ治具71と、ベース73の上面に移動可能に取り付けられてピストン1を側面から固定する一対のサイド治具72等により構成される。センタ治具71の上面には凸部が形成されている。また、一対のサイド治具72のそれぞれのセンタ治具71側の側面は、ピストン1の側面と同一半径の円筒面が形成されており、この円筒面には凸部72aが形成されている。

[0081] ピストン1の冠面に摩擦攪拌接合により表面処理部を形成する際には、ピストン1を次のように固定する。まず、ピストン1の下面の凹部をセンタ治

具 7 1 の凸部に嵌合させて、ピストン 1 をセンタ治具 1 に保持する。次に、
一対のサイド治具 7 2 をそれぞれピストン 1 の方に移動させ、一対の凸部 7
2 a をピストン 1 の側面の穴部に挿入し、一対のサイド治具 7 2 の円筒面に
てピストン 1 の側面を両側から加圧して固定する。これにより、摩擦攪拌接
合の際に回転工具が回転する位置に、ピストン 1 を位置決めして固定する。

[0082] (実施例 4)

図 4 に示した構成の表面処理部を形成する手順について説明する。図 4 に
示した表面処理部は、ピストン冠面に形成された凹部の表面に、第 3 層と第
2 層をこの順序で交互に 3 回繰り返して形成された上に最上層として第 1 層
が設けられた構成である。

[0083] このような構成の表面処理部が冠面に形成されたピストン 1 は、図 5 に示
されたフローチャートに従って作製した。まず、ピストン 1 の粗材を鋳造し
、次に、このピストン粗材に一次機械加工を施した。表面処理部を形成する
ためのピストン冠面の凹部は一次機械加工により、直径 28 mm、深さ 7.
5 mm となるように形成した。

[0084] 次に、凹部に粉末 5 1 を充填した後、直径 30 mm の回転工具を回転させ
ながら荷重をかけた。これにより、凹部の周辺を押し潰しながら粉末 5 1 を
回転工具により押し込んで 1 回目の摩擦攪拌接合を行い、第 3 層と第 2 層と
をこの順序で形成した。次に、形成された第 2 層の上に粉末 5 1 を充填した
後、直径 32 mm の回転工具を回転させながら荷重をかけた。これにより、
既に形成されている第 3 層と第 2 層との上に、2 回目の摩擦攪拌接合により
、さらに第 3 層と第 2 層がこの順序で形成した。同様にして、直径 34 mm
の回転工具を用いて 3 回目の摩擦攪拌接合を行い、第 3 層と第 2 層がこの順
序で交互に 3 回繰り返すように形成した。次に、粉末 5 2 を最も上部の第 2
層の上に充填した後、直径 36 mm の回転工具を回転させながら同様に摩擦
攪拌接合を行い、最上層として第 1 層を形成した。その後、熱処理二次機械
加工を施し、ピストン 1 を作製した。

[0085] 上記の工程により、表面処理部を形成するためのピストン冠面の凹部には

、第3層と第2層がこの順序で交互に3回繰り返して形成された上に第1層が形成され、合計7層の構成による表面処理部が形成された。複数の第3層および第2層の面積は、上部ほど直径が大きく、第1層の面積は最も大きい。1回の摩擦攪拌接合により1mmの厚さの層を形成することで、4回の摩擦攪拌接合により合計4mmの厚さ表面処理部を形成した。なお、上記の各摩擦攪拌接合においては、凹部の径に比べて回転工具の径は大きい、凹部の径と回転工具の径は同じであってもよい。

[0086] 摩擦攪拌接合に用いた回転工具の直径は、1回目の摩擦攪拌接合用として30mm、2回目の摩擦攪拌接合用として32mm、3回目の摩擦攪拌接合用として34mm、4回目の摩擦攪拌接合用として36mmであった。1回目から3回目までの摩擦攪拌接合には成形材料として粉末51を用い、4回目の摩擦攪拌接合には成形材料として粉末52を用いた。

[0087] 1回の摩擦攪拌接合で形成される層は1.0mmとし、表面処理部全体としての合計厚さを4.0mmとした。4回目の摩擦攪拌接合により形成された第1層の上部に形成された酸素を含む最表層は、二次機械加工により切除した。

[0088] 以上の手順により、図4に示すようなピストン1を作成した。このピストン1は、第3層と第2層をそれぞれ3層ずつ、最上層として第2層を備え、各層の表面積は上層ほど大きい。

[0089] なお、上記で、表面処理部を形成する凹部の側面と底面とが接する接続部分が曲面でない場合、成形材料が固相接着されない状態でこの部分に残り、固相接合不良の部分を生じる原因となる旨説明した。この理由として、上記接続部分では、熱が逃げやすく、また摩擦攪拌接合の際に回転工具との間の隙間が生じ、この部分の成形材料に対して十分な荷重が付加されにくいことが考えられる。

[0090] この問題を解決するために、センタ治具71の凸分とピストン下部の凹部と寸法精度を高めて嵌合状態を改善する方法も考えられるが、このような解決方法に比べて、上記接続部分を曲面とする方法はより簡便である。

[0091] 以上説明した通り、本発明によれば、優れた断熱特性によりデポジットやスモークの排出が抑制され燃費が良好な内燃機関用ピストンを提供できる。また、表面処理部とピストン母材とは強固に接合されるため、耐久性に優れた内燃機関用ピストンを提供できる。

[0092] なお、本発明は、以上説明した実施の形態に限定されない。本発明の要旨を変更しない範囲で、具体的な構成材料、部品などを変更してもよい。また、本発明の構成要素を含んでいれば、公知の技術を追加し、あるいは公知の技術で置き換えることも可能である。

[0093] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願 2015 年第 233208 号（2015 年 11 月 30 日出願）

符号の説明

- [0094]
- 1 ピストン母材
 - 2 表面処理部
 - 4 回転工具
 - 11 ピストン冠面
 - 21 第 3 層
 - 22 第 1 層
 - 23 第 2 層
 - 31 低熱伝導率材料
 - 32 金属
 - 33 酸素を含有した金属または金属の酸化物
 - 34 金属
 - 51、52 粉末
 - 61 試験片
 - 62 真空チャンバ
 - 63 赤外線カメラ
 - 64 レーザー光源

7 0 接合用工具

7 1 センタ治具

7 2 サイド治具

7 3 ベース

請求の範囲

- [請求項1] ピストン冠面のピストン母材に、表面側から深さ方向に向かって、第1の金属の層または前記第1の金属を含有する層による第1層、酸素を含有する第2の金属または前記第2の金属の酸化物と、低熱伝導率材料とを含有する第2層、および、第3の金属と前記低熱伝導率材料との混合物による第3層、を有する表面処理部を設けた、内燃機関用ピストン。
- [請求項2] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第3の金属は、アルミニウム、マグネシウム、鉄、銅、亜鉛、チタン、ニッケルのいずれか1種類、またはこれらの金属のうちの少なくとも1種類を含有する合金である、内燃機関用ピストン。
- [請求項3] 請求項1または請求項2に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第1の金属と前記第3の金属とは、共に、アルミニウムまたはアルミニウム合金である、内燃機関用ピストン。
- [請求項4] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第1層は、前記第1の金属に加えて前記低熱伝導率材料を含有する、内燃機関用ピストン。
- [請求項5] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第2層は、中央部における厚さに比べて周辺部における厚さが大きい、内燃機関用ピストン。
- [請求項6] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第2の金属と、前記第3の金属とは同一である、内燃機関用ピストン。
- [請求項7] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第1の金属と、前記第2の金属とは同一である、内燃機関用ピストン。
- [請求項8] 請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、
前記第3層において、前記第2層に接する面に対向する面と外周面

とが接する部分は曲面により構成されている、内燃機関用ピストン。

[請求項9]

請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、

前記表面処理部の外周部と、前記ピストン母材との間には、前記表面処理部を構成する材料と前記ピストン母材を構成する材料との攪拌部を有する、内燃機関用ピストン。

[請求項10]

請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、

前記第2層を複数有する、内燃機関用ピストン。

[請求項11]

請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、

前記第3層の面積は、前記第1層の面積よりも小さい、内燃機関用ピストン。

[請求項12]

請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、

前記第2層および前記第3層において、前記低熱伝導率材料の体積比率は50%以上である内燃機関用ピストン。

[請求項13]

請求項1に記載の内燃機関用ピストンであって、

前記低熱伝導率材料は、ジルコニア、コーージェライト、ムライト、シリコン、シリカ、雲母、タルク、ケイ酸塩ガラス、アクリルガラス、有機ガラス、シリカエアロゲル、中空のセラミックビーズ、中空のガラスビーズ、中空の金属球、有機珪素化合物、セラミック繊維、チタン合金、低合金鋼、鋳鉄、のうち少なくともいずれか一つを含有する材料である、内燃機関用ピストン。

[請求項14]

冠面に表面処理部を備えた内燃機関用のピストンの製造方法であって、

前記表面処理部の形成工程は、

前記ピストンのピストン母材の冠面に凹部を形成する凹部形成工程と、

前記凹部に粉末または粉末の成形体である第1成形材料を充填する第1充填工程と、

前記第1成形材料に回転工具を当接させて前記第1成形材料を摩

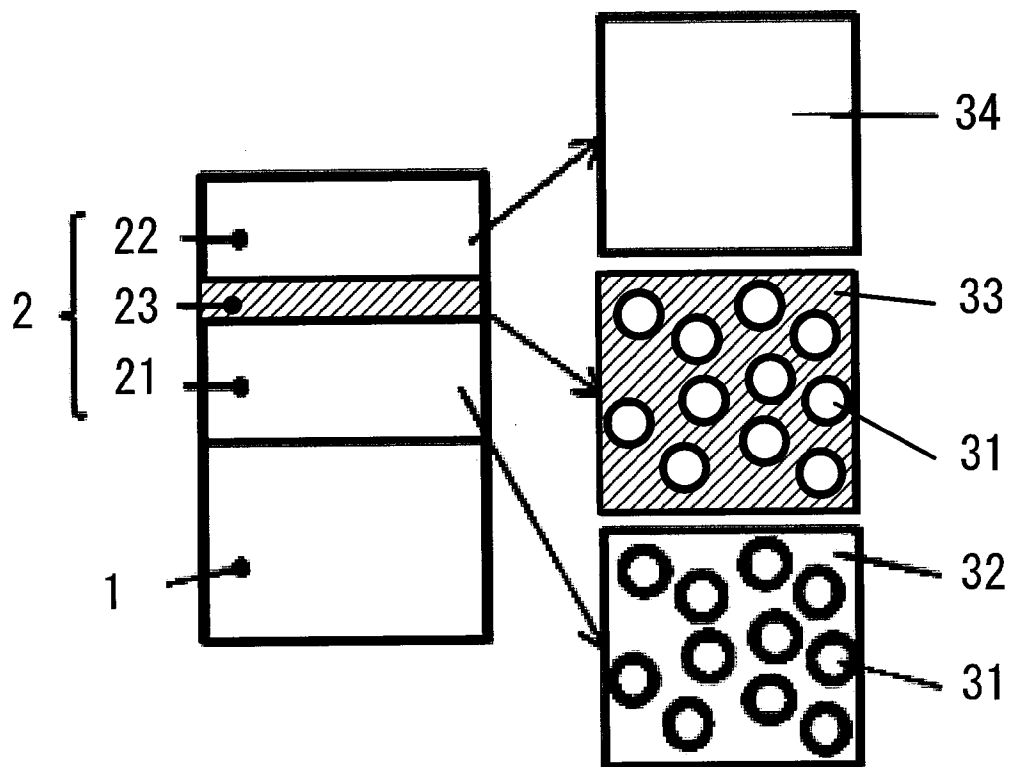
擦熱により軟化させ前記凹部に前記第 1 成形材料を固相接合し、かつ、前記第 1 成形材料と前記ピストン母材との攪拌部を形成する第 1 攪拌接合工程と、

前記第 1 攪拌接合工程により固相接合されて形成された形成層の上に、粉末または粉末の成形体である第 2 成形材料を充填する第 2 充填工程と、

前記第 2 成形材料に回転工具を当接させて前記第 2 成形材料を摩擦熱により軟化させ前記凹部に前記第 2 成形材料を固相接合し、かつ、前記第 2 成形材料と前記ピストン母材との攪拌部を形成する第 2 攪拌接合工程と、を少なくとも有する、内燃機関用ピストンの製造方法。

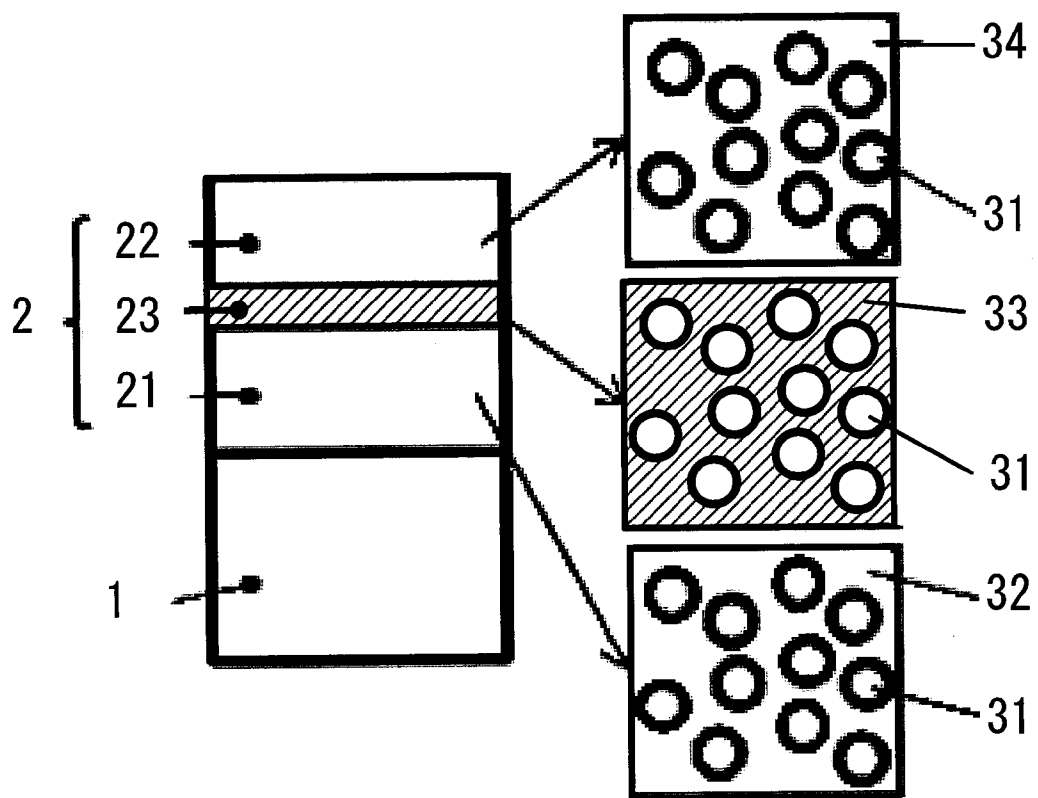
[図1]

【図1】



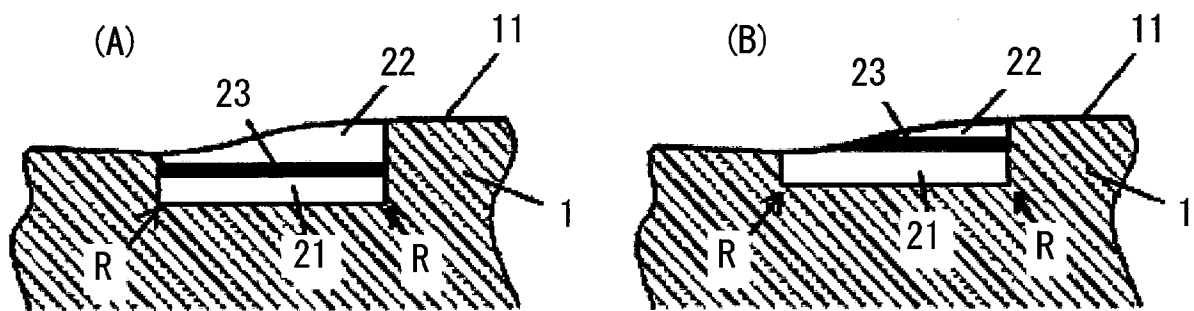
[図2]

【図2】



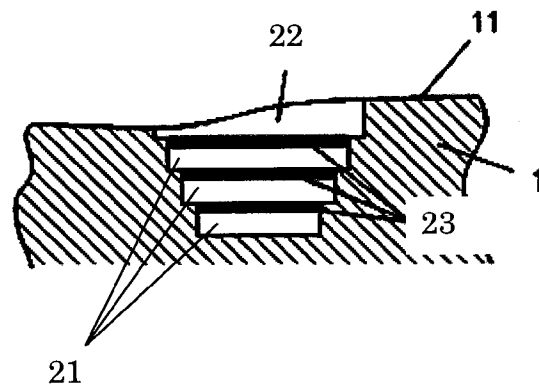
[図3]

【図3】



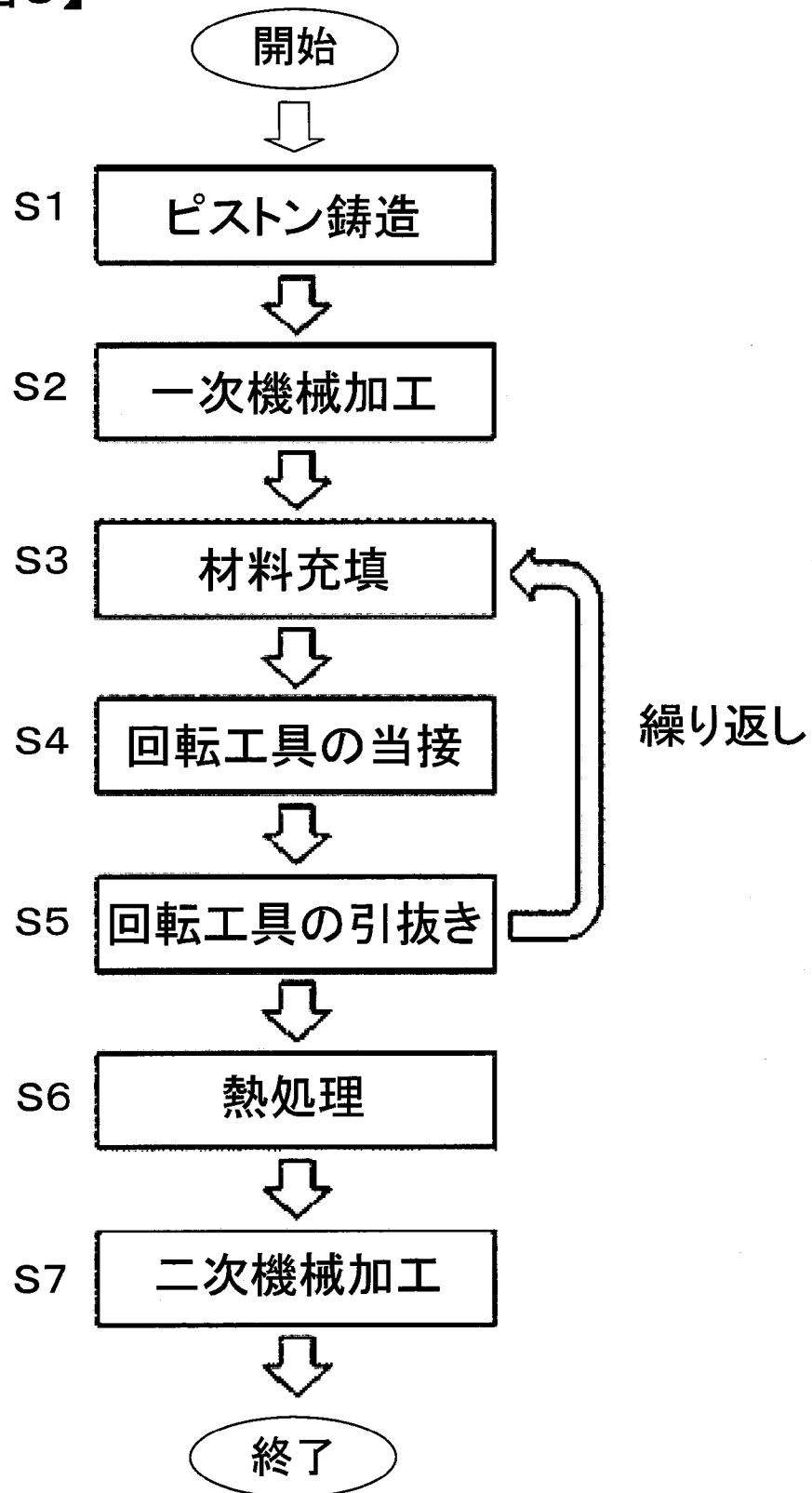
[図4]

【図4】



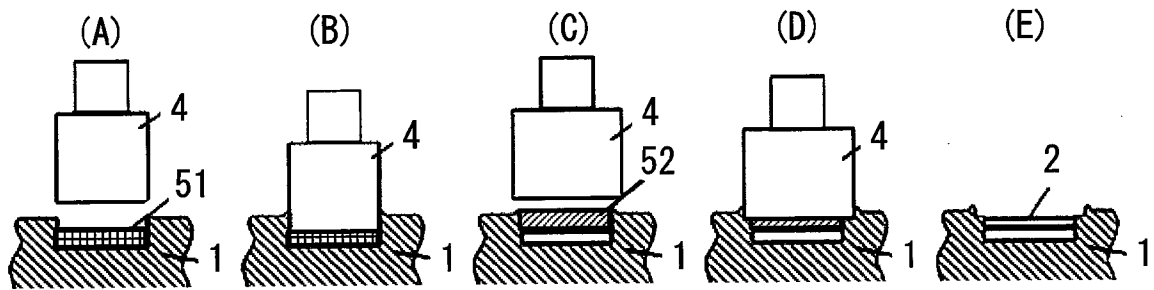
[図5]

【図5】



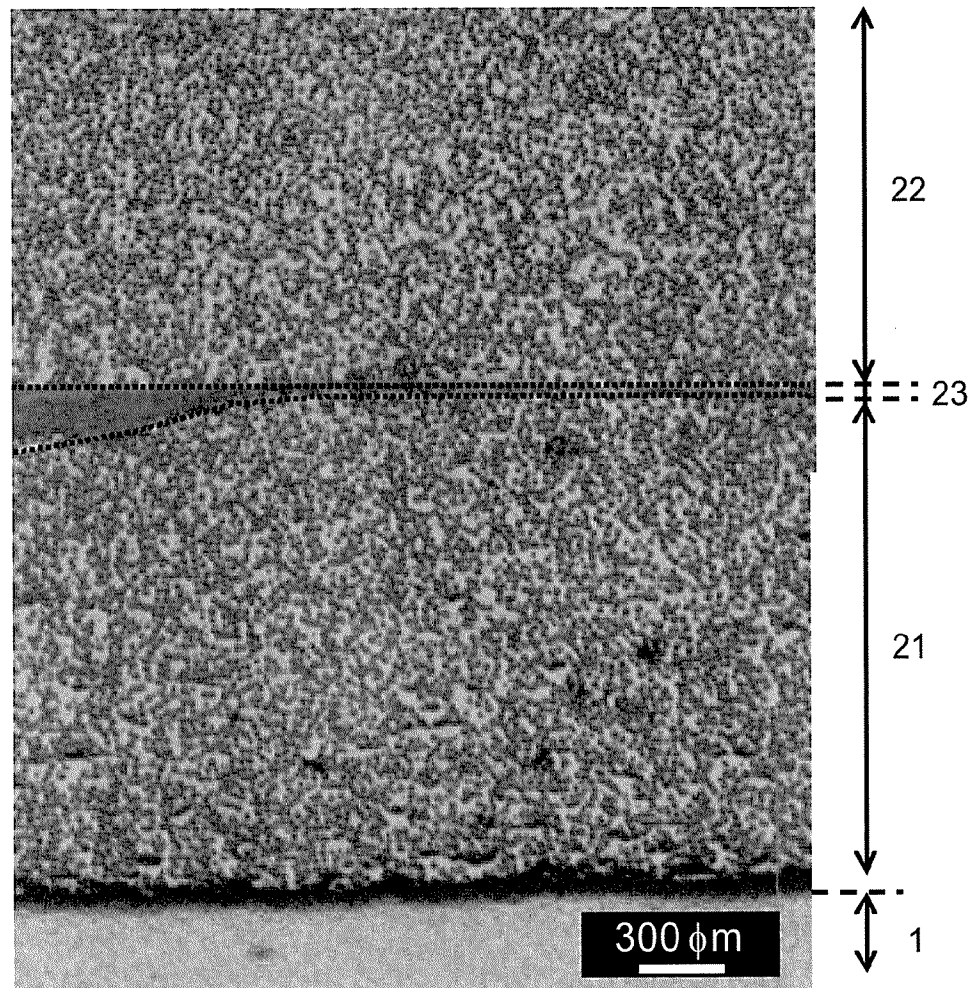
[図6]

【図6】



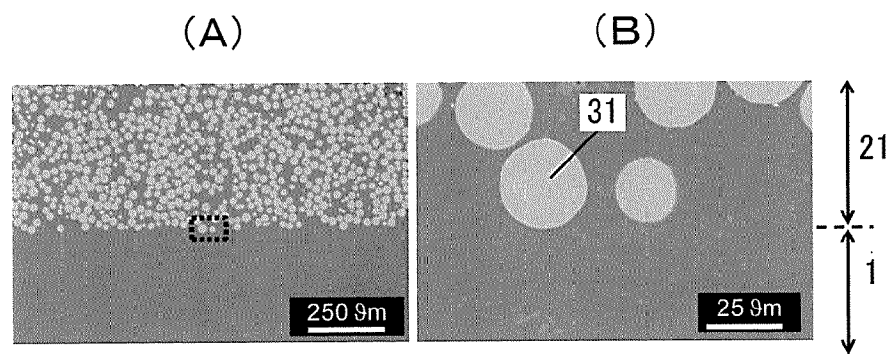
[図7]

【図7】



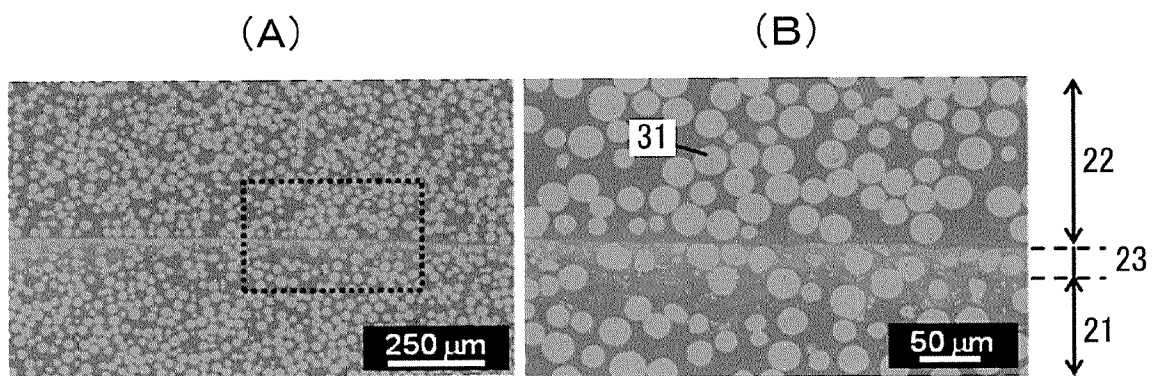
[図8]

【図8】



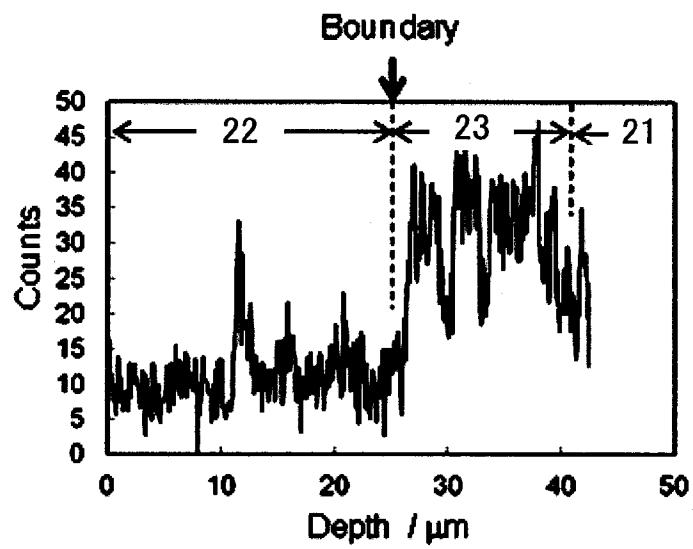
[図9]

【図9】



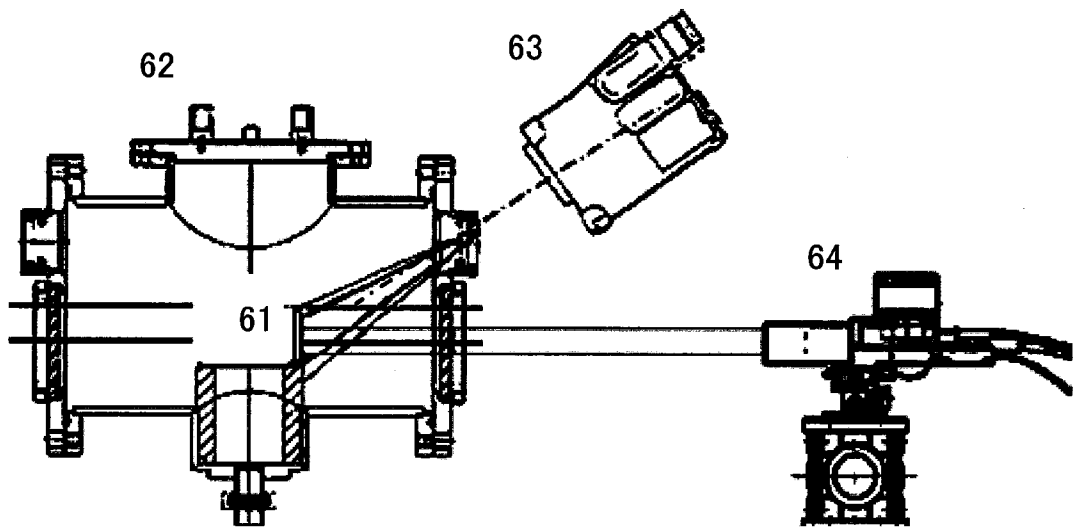
[図10]

【図10】



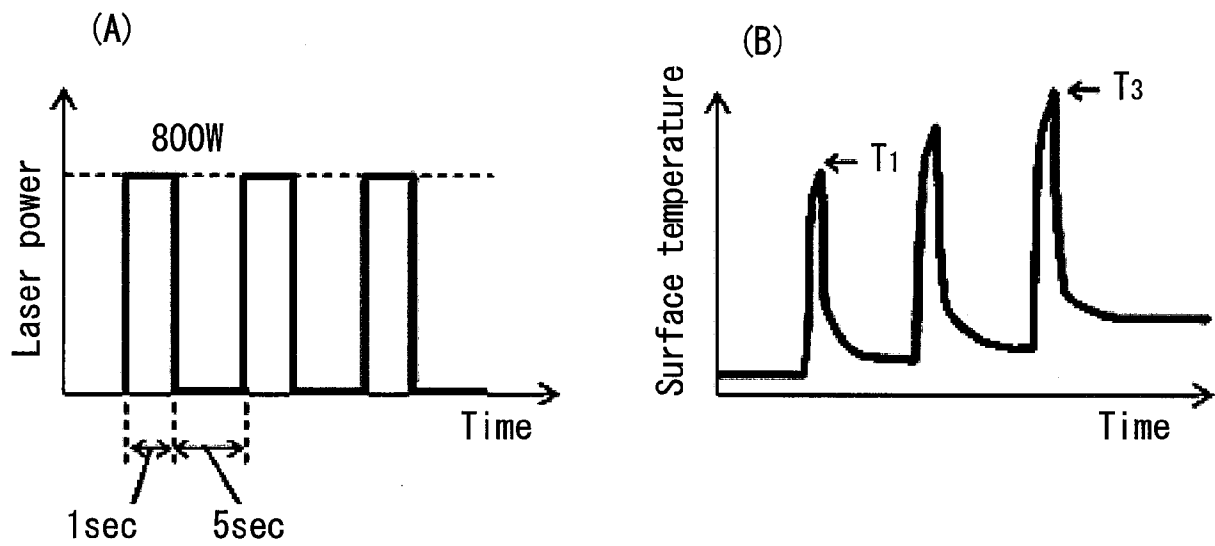
[図11]

【図11】



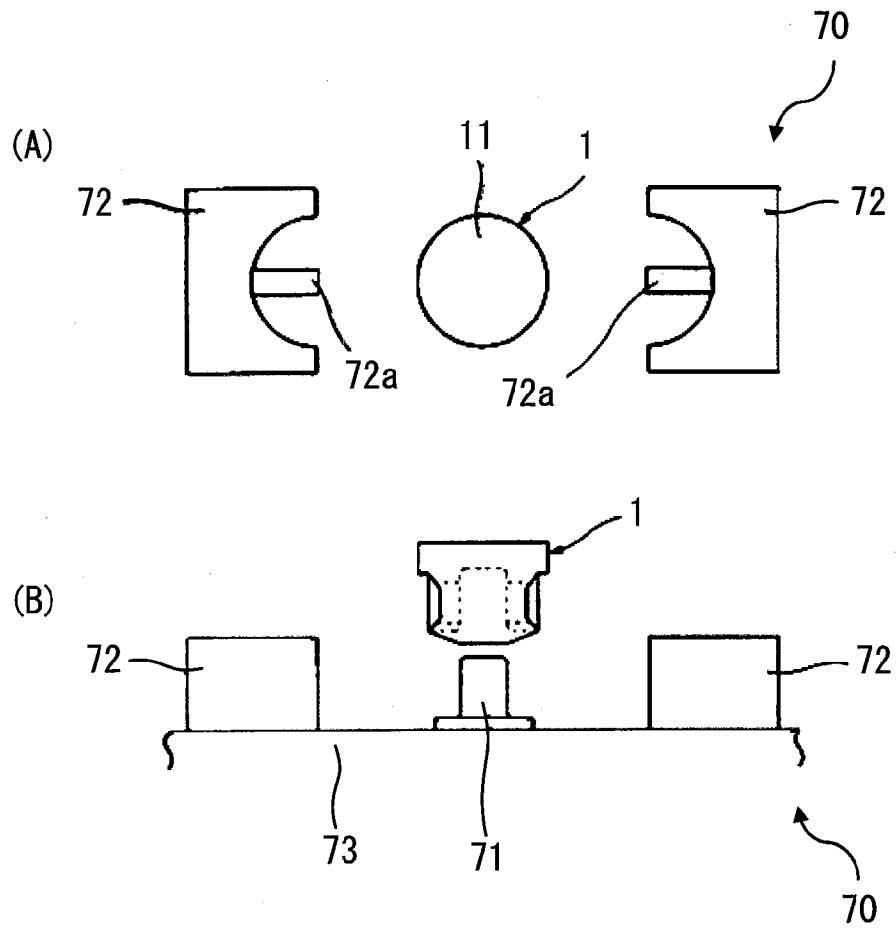
[図12]

【図12】



[図13]

【図13】



[図14]

【図14】

	粉末51	粉末52	回転工具
実施例1-1	Al-55%ZrO ₂	Al	SKD61
実施例1-2	Al-55%ZrO ₂	Al-55%ZrO ₂	SKD61
実施例1-3	Mg-55%ZrO ₂	Mg-55%ZrO ₂	WC-Co
実施例1-4	Cu-55%ZrO ₂	Cu-55%ZrO ₂	WC-Co
実施例1-5	Fe-55%ZrO ₂	Fe-55%ZrO ₂	Si ₃ N ₄
実施例1-6	Zn-55%ZrO ₂	Zn-55%ZrO ₂	SKD61
実施例1-7	Ti-55%ZrO ₂	Ti-55%ZrO ₂	Si ₃ N ₄
実施例1-8	Ni-55%ZrO ₂	Ni-55%ZrO ₂	Si ₃ N ₄

[図15]

【図15】

	粉末51および粉末52	密着強度	備考
実施例1-2	Al-55%ZrO ₂	>80MPa	樹脂部が破断
実施例1-9	Al-45%ZrO ₂	>80MPa	樹脂部が破断
実施例1-10	Al-50%ZrO ₂	>80MPa	樹脂部が破断
実施例1-11	Al-60%ZrO ₂	>80MPa	樹脂部が破断
実施例1-12	Al-70%ZrO ₂	70MPa	層界面で破断
実施例1-13	Al-75%ZrO ₂	60MPa	母材との界面で破断
実施例1-14	Al-80%ZrO ₂	18MPa	母材との界面で破断
実施例1-15	Al-55%SiO ₂	>80MPa	樹脂部が破断
実施例1-16	Al-70%SiO ₂	65MPa	母材との界面で破断
実施例1-17	Al-80%SiO ₂	21MPa	母材との界面で破断
比較例1-1	Al-85%ZrO ₂	—	接合不可
比較例1-2	Al-85%SiO ₂	—	接合不可

[図16]

【図16】

	表面処理部		ピーク温度 (°C)	
	粉末 5 1	粉末 5 2	T 1	T 3
実施例 2-1	A l-5 5 % Z r O ₂	A l	2 7 4	3 1 5
実施例 2-2	A l-4 5 % Z r O ₂	A l-4 5 % Z r O ₂	2 8 0	3 2 8
実施例 2-3	A l-5 0 % Z r O ₂	A l-5 0 % Z r O ₂	3 1 8	3 5 2
実施例 2-4	A l-5 5 % Z r O ₂	A l-5 5 % Z r O ₂	3 5 2	3 8 2
実施例 2-5	A l-6 0 % Z r O ₂	A l-6 0 % Z r O ₂	3 7 6	4 2 0
実施例 2-6	A l-7 0 % Z r O ₂	A l-7 0 % Z r O ₂	4 0 2	4 5 8
実施例 2-7	A l-5 5 % S i O ₂	A l-5 5 % S i O ₂	3 7 5	4 4 9
実施例 2-8	A l-7 0 % S i O ₂	A l-7 0 % S i O ₂	4 4 8	5 8 0
比較例 2-1	無し		1 4 1	2 0 8
比較例 2-2	A l-5 5 % Z r O ₂	無し	2 5 7	2 8 5
比較例 2-3	陽極酸化アルミナ層		2 1 4	2 6 2
比較例 2-4	プラズマ溶射ジルコニア層		5 1 0	6 5 0

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/085433

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C28/00(2006.01)i, C23C26/00(2006.01)i, F02F3/00(2006.01)i, F02F3/10(2006.01)i, F16J1/02(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)

C23C28/00, C23C26/00, F02F3/00, F02F3/10, F16J1/02

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 A	WO 2015/016122 A1 (Hitachi Automotive Systems, Ltd.), 05 February 2015 (05.02.2015), paragraphs [0030] to [0036], [0040] to [0045]; fig. 2, 6, 7, 9, 11 & US 2016/0177864 A1 paragraphs [0041] to [0052], [0057] to [0062]; fig. 2, 6, 7, 9, 11	14 1-13
A	JP 61-59854 U (Nissan Motor Co., Ltd.), 22 April 1986 (22.04.1986), page 4, line 12 to page 7, line 1; fig. 2 (Family: none)	1-14

☒ 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
26 December 2016 (26.12.16)

Date of mailing of the international search report
10 January 2017 (10.01.17)

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/JP2016/085433

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-501602 A (United Technologies Corp.), 20 February 1996 (20.02.1996), page 14, line 8 to page 17, line 22; fig. 2 & US 5305726 A column 5, line 15 to column 6, line 63; fig. 2	1-14
A	JP 61-76745 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 19 April 1986 (19.04.1986), page 3, upper right column, line 7 to page 3, lower left column, line 18; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-14
A	JP 3-151545 A (Inco Ltd.), 27 June 1991 (27.06.1991), page 3, lower left column, lines 5 to 18; page 5, lower left column, lines 6 to 13; fig. 4 & US 4986234 A column 3, lines 5 to 18; column 5, lines 29 to 35; fig. 4	1-14
A	JP 2014-25418 A (Hitachi Automotive Systems, Ltd.), 06 February 2014 (06.02.2014), paragraphs [0012] to [0018], [0064] to [0068]; fig. 1 & US 2015/0204268 A1 paragraphs [0018] to [0024], [0072] to [0076]; fig. 1	1-14

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C23C28/00(2006.01)i, C23C26/00(2006.01)i, F02F3/00(2006.01)i, F02F3/10(2006.01)i, F16J1/02(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. C23C28/00, C23C26/00, F02F3/00, F02F3/10, F16J1/02

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 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 6 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 A	WO 2015/016122 A1 (日立オートモティブシステムズ株式会社) 2015.02.05, 段落[0030]-[0036], [0040]-[0045], [図 2], [図 6], [図 7], [図 9], [図 11] & US 2016/0177864 A1, 段落[0041]-[0052], [0057]-[0062], [図 2], [図 6], [図 7], [図 9], [図 11]	14 1-13
A	JP 61-59854 U (日産自動車株式会社) 1986.04.22, 第 4 頁第 12 行-第 7 頁第 1 行, 第 2 図 (ファミリーなし)	1-14

☑ 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

2 6 . 1 2 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 1 . 2 0 1 7

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)

宮本 靖史

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

4 E

3 7 6 0

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
A	JP 8-501602 A (ユナイテッド テクノロジーズ コーポレイション) 1996.02.20, 第14頁第8行-第17頁第22行, 第2図 & US 5305726 A, 第5欄第15行-第6欄第63行, 第2図	1-14
A	JP 61-76745 A (三菱重工業株式会社) 1986.04.19, 第3頁右上欄第7行-第3頁左下欄第18行, 第1図-第2図 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 3-151545 A (インコ、リミテッド) 1991.06.27, 第3頁左下欄第5-18行, 第5頁左下欄第6-13行, 第4図 & US 4986234 A, 第3欄第5-18行, 第5欄第29-35行, 第4図	1-14
A	JP 2014-25418 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 2014.02.06, 段落[0012]-[0018], [0064]-[0068], [図1] & US 2015/0204268 A1, 段落[0018]-[0024], [0072]-[0076], [図1]	1-14