

(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  
2019年5月23日(23.05.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/097678 A1

(51) 国際特許分類:  
B22D 19/00 (2006.01) F02F 1/00 (2006.01)  
B22D 19/08 (2006.01) F16D 51/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/041498

(22) 国際出願日: 2017年11月17日(17.11.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: T P R 株式会社(TPR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000005 東京都千代田区丸の内一丁目6番2号 Tokyo (JP). T P R 工業株式会社(TPR INDUSTRY CO., LTD.) [JP/JP]; 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 Yamagata (JP).

(72) 発明者: 佐山 明(SAYAMA, Akira); 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP). 畠山 公一(HATAKEYAMA, Koichi); 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP). 佐藤 陽(SATO, Akira);

〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP). 清野一樹(SEINO, Kazuki); 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP). 奥田 勝哉(OKUDA, Katsuya); 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP). 滝口 朝幾(TAKIGUCHI, Tomoki); 〒9900561 山形県寒河江市中央工業団地1番地 T P R 工業株式会社内 Yamagata (JP).

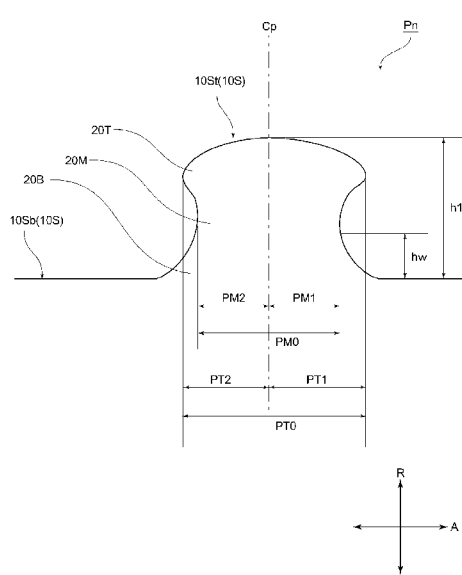
(74) 代理人: アイアット国際特許業務法人(IAT WORLD PATENT LAW FIRM); 〒1640012 東京都中野区本町4丁目44番18号 ヒューリック中野ビル7階 Tokyo (JP).

(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, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: CAST IRON CYLINDRICAL MEMBER AND COMPOSITE STRUCTURE

(54) 発明の名称: 鋳鉄製円筒部材および複合構造体

[図2]  
Fig.2



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to achieve sufficient bonding strength and adhesion to an outer circumferential-side member even with a lower projection height. Provided is a composite structure comprising a cast iron cylindrical member, the outer circumferential surface of which consists of a cast surface and has a plurality of protrusions P integrally formed with the cast surface, wherein A) the heights H of the protrusions P are at least 0.20 mm and less than 0.50 mm, B) the number N of protrusions per 1 cm<sup>2</sup> of the circumferential surface is 61-180, C) the protrusions P include constricted protrusions Pn, D) the percentage of the constricted protrusions Pn among the protrusions P is at least 50%, E) the bonding strength index S represented by equation 1 below is at least 310, and F) the bonding strength F(A) when the outer circumferential surface of the cast iron cylindrical member is insert-cast with an aluminum alloy exceeds the boundary bond strength represented by equation 2 below. (1)  $S=H^2 \times N \times NP$ , (2)  $Fb=1.325 \times H^2 \times N-0.75$ .

WO 2019/097678 A1

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：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：突起高さをより低くしても外周側部材との間で十分な接合強度および密着性が確保できること。鋳鉄製円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、A) 突起Pの高さHが0.20mm以上0.50mm未満、B) 外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起数Nが61個以上180個以下、C) 突起Pには括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれ、D) 突起Pに対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の比率が50%以上、E) 下式1に示す接合強度指数Sが310以上であり、F) 鋳鉄製円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度F(AI)が下式2に示す境界接合強度を超える複合構造体。・式(1)  $S = H^2 \times N \times NP$  ・式(2)  $F_b = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$

## 明 細 書

発明の名称： 鋳鉄製円筒部材および複合構造体

### 技術分野

[0001] 本発明は、鋳鉄製円筒部材および複合構造体に関するものである。

### 背景技術

[0002] 鋳鉄製円筒部材は、内燃機関のシリンダライナや、内接式ドラムブレーキのブレーキドラム、軸受部材または支持部材などに用いられている。このような鋳鉄製円筒部材は、その外周面が、たとえば金属材料により鋳ぐるまれることで、鋳鉄製円筒部材と、鋳鉄製円筒部材の外周面側に設けられる部材（外周側部材）とが一体化される。このため、鋳鉄製円筒部材と、外周側部材との接合強度の向上などを目的として、外周面に複数の突起が設けられた鋳鉄製円筒部材が提案されている（特許文献1～3等）。

[0003] 鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられる突起の形状等は様々であるが、たとえば、特許文献1に開示された鋳ぐるみ用シリンダライナの外周面に設けられた突起の高さは0.5mm～1.0mmである。また、特許文献2に開示された鋳鉄製鋳ぐるみ部材の突起高さは、シリンダライナ用途では、0.5mm～1.2mmの間に設定されている。

[0004] さらに、特許文献3には、試験例として、突起高さの平均値が0.25mm～0.85mmであり、突起個数が55個/cm<sup>2</sup>～152個/cm<sup>2</sup>である鋳鉄製円筒部材が開示されている。特許文献3記載の技術は、熱伝導性と接合強度が高く、薄肉化も可能な鋳包構造体を提供することを目的としている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特許第4429025号

特許文献2：特許第4210468号

特許文献3：特開2009-264347号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] 一方、鋳鉄製円筒部材には、外周側部材に対する接合強度が優れていること以外にも、鋳鉄製円筒部材の使用用途に応じてさらに鋳鉄製円筒部材の総厚み $T$ を薄くすることが求められる場合もある。一方、総厚み $T$ は、突起高さ $T_p$ と、突起を除いた円筒部材本体部の厚み $T_b$ との和であるため、総厚み $T$ を薄くするためには、突起高さ $T_p$ あるいは円筒部材本体部の厚み $T_b$ のいずれか一方、または、双方を薄くする必要がある。しかしながら、円筒部材本体部の厚み $T_b$ を薄くするのは、鋳鉄製円筒部材の強度低下を招くため現実的では無い場合もある。

[0007] 上述した点を考慮すると、突起の高さが最低でも $0.5\text{ mm}$ 以上である特許文献1, 2記載の技術は根本的に不適切と考えられる。これに対して、突起の高さを $0.5\text{ mm}$ 未満とすることも可能な特許文献3記載の技術は、特許文献1, 2記載の技術よりも適切と考えられる。しかしながら、本発明者らが特許文献3記載の技術について検討したところ、突起の高さが $0.5\text{ mm}$ 未満の領域において、所定の接合強度を確保しつつ鋳鉄製円筒部材の総厚み $T$ をさらに薄くすることが困難であることが判明した。

[0008] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、突起高さをより低くしても外周側部材との間で十分な接合強度および密着性が確保できる鋳鉄製円筒部材および複合構造体を提供することを課題とする。

### 課題を解決するための手段

[0009] 上記課題は以下の本発明により達成される。すなわち、

第一の本発明の鋳鉄製円筒部材は、鋳鉄製の円筒部材であって、円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起 $P$ を有し、(A)前記突起 $P$ の高さが、 $0.20\text{ mm}$ 以上 $0.50\text{ mm}$ 未満であり、(B)外周面の $1\text{ cm}^2$ 当たりの前記突起 $P$ の総数が、 $61$ 個以上 $180$ 個以下であり、(C)突起 $P$ には、括れた形状を有する突起 $P_n$ が含まれ、(D)外周面に存在する突起 $P$ の数に対する括れた形状を有する突

起P nの数の比率が、50%以上であり、(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、(F1) 円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度F(A1(1はLの子文字))が、下式(2)に示す値Fbを超えることを特徴とする。

$$\cdot \text{式(1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

$$\cdot \text{式(2)} \quad Fb = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$$

[式(1)および式(2)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P nの数の比率(%)を表し、Fbは、境界接合強度(MPa)を表す。]

[0010] 第二の本発明の鋳鉄製円筒部材は、鋳鉄製の円筒部材であって、円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、(A) 前記突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、(B) 外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数が、61個以上180個以下であり、(C) 突起Pには、括れた形状を有する突起P nが含まれ、(D) 外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P nの数の比率が、50%以上であり、(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、(F2) 外周面に存在する括れた形状を有する突起P nの数に対する、括れた形状を有する突起P nの高さに対する最も括れた位置の高さの比率が0.65以下である括れた形状を有する突起P nの数の比率が40%以上であることを特徴とする。

$$\cdot \text{式(1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

[式(1)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P nの数の比率(%)を表す。]

[0011] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の一実施形態は、(A) ~ (E)

）、（F1）および（F2）に示す条件を満たすことが好ましい。

- [0012] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の他の実施形態は、非接触式三次元レーザ測定器を用いて、外周面に対してレーザ光を照射することで、外周面の $1\text{ cm}^2$ 当たりを測定して得られる等高線図において、測定高さ $0.15\text{ mm}$ の等高線により囲まれる領域の面積率を $S_1$ としたとき、面積率 $S_1$ が $15\% \sim 50\%$ であることが好ましい。
- [0013] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の他の実施形態は、接合強度指数 $S$ が $500$ 以上であることが好ましい。
- [0014] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の他の実施形態は、円筒部材と他の部材とが一体化されるように、円筒部材の外周面の少なくとも一部が、他の部材により覆われていることが好ましい。
- [0015] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の他の実施形態は、円筒部材の内周面をピストン及びピストンリングが往復摺動する内燃機関用シリンダライナであることが好ましい。
- [0016] 第一および第二の本発明の鋳鉄製円筒部材の他の実施形態は、円筒部材の内周面でブレーキシューと摺動する内接式ドラムブレーキのブレーキドラムであることが好ましい。
- [0017] 第一の本発明の複合構造体は、鋳鉄製の円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に鋳肌面と一体的に形成された複数の突起 $P$ を有し、（A）突起 $P$ の高さが、 $0.20\text{ mm}$ 以上 $0.50\text{ mm}$ 未満であり、（B）外周面の $1\text{ cm}^2$ 当たりの突起 $P$ の総数が、 $61$ 個以上 $180$ 個以下であり、（C）突起 $P$ には、括れた形状を有する突起 $P_n$ が含まれ、（D）外周面に存在する突起 $P$ の数に対する括れた形状を有する突起 $P_n$ の数の比率が、 $50\%$ 以上であり、（E）下式（1）に示す値 $S$ が、 $310$ 以上であり、かつ、（F1）円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度 $F(A_1)$ が、下式（2）に示す値 $F_b$ を超える鋳鉄製円筒部材と、鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部を覆う外周側部材とを有し、鋳鉄製円筒部材と外周側部材とが一体化していることを特徴とする。

$$\cdot \text{式 (1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

$$\cdot \text{式 (2)} \quad Fb = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$$

[式(1)および式(2)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率(%)を表し、Fbは、境界接合強度(MPa)を表す。]

[0018] 第二の本発明の複合構造体は、鋳鉄製の円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、(A)突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、(B)外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数が、61個以上180個以下であり、(C)突起Pには、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれ、(D)外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が、50%以上であり、(E)下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、(F2)外周面に存在する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数に対する、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の高さに対する最も括れた位置の高さの比率が0.65以下である括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が40%以上である鋳鉄製円筒部材と、鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部を覆う外周側部材とを有し、鋳鉄製円筒部材と前記外周側部材とが一体化していることを特徴とする。

$$\cdot \text{式 (1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

[式(1)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率(%)を表す。]

[0019] 第一および第二の本発明の複合構造体の一実施形態は、(A)～(E)、(F1)および(F2)に示す条件を満たすことが好ましい。

[0020] 第一および第二の本発明の複合構造体の他の実施形態は、外周側部材が、

金属製外周側部材であり、鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部が、金属製外周側部材により鋳包まれていることが好ましい。

### 発明の効果

[0021] 本発明によれば、突起高さをより低くしても外周側部材との間で十分な接合強度および密着性が確保できる鋳鉄製円筒部材および複合構造体を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0022] [図1]本実施形態の鋳鉄製円筒部材の一例を示す外観斜視図である。

[図2]本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられた括れた形状を有する突起の一例を示す拡大側面図である。

[図3]本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられたその他の形状を有する突起の一例を示す拡大側面図である。

[図4]括れた形状を有する突起の一例を示す写真である。ここで、図4（A）は括れた形状を有する突起の断面写真（金属顕微鏡写真）の一例であり、図4（B）は、括れた形状を有する突起の側面を、鋳鉄製円筒部材の外周面の接線に対して約30°斜め上の方向からマイクロスコープで観察した際の側面写真の一例である。

[図5]本実施形態の鋳鉄製円筒部材（シリンダライナ）を備えた内燃機関の一例を示す模式図である。ここで、図5（A）は、内燃機関の斜視図であり、図5（B）は、図5（A）中の符号IIB-IIB間の断面構造の一例を示す断面図である。

[図6]本実施形態の鋳鉄製円筒部材（ブレーキドラム）を備えた内接式ドラムブレーキの一例を示す模式断面図である。

[図7]本実施形態の鋳鉄製円筒部材を遠心鋳造法により製造する場合における鋳造工程の一例を示すフローチャートである。

[図8]図7に示す工程Cについて説明する模式図である。ここで、図8（A）は塗型層内に、複数の気泡が形成された状態を示す図であり、図8（B）は塗型層の内周側に凹穴が形成された状態を示す図であり、図8（C）は括れ

た形状を有する凹穴が形成されると共にその他の形状を有する凹穴も形成された状態を示す図である。

[図9]非接触式3次元レーザ測定器を用いて、鋳鉄製円筒部材の外周面に形成された突起の等高線図および突起の数を測定する方法を説明する模式図である。

[図10]実施例8の評価用サンプルの200 $\mu$ m等高線図の一例である。

[図11]マイクロ스코プを用いた括れ比率の測定方法を説明する模式図である。ここで、図11(A)は、マイクロ스코プにより観察される評価用サンプルをその中心軸側から見た正面図であり、図11(B)は、マイクロ스코プにより観察される評価用サンプルをその側面側から見た側面図である。

[図12]図11に示す測定方法において、マイクロ스코プを介してテレビモニタに映し出された評価用サンプルの外周面の一例を示す拡大画像である。

[図13]変則的な形状を有する突起の一例を示す側面図である。

[図14]実施例8の評価用サンプルの150 $\mu$ m等高線図の一例である。

[図15]空隙率の測定のために作製した2気筒型シリンダとこれから得られた試験片を示す模式図である。ここで、図15(A)が、2気筒型シリンダの外観図であり、図15(B)が、試験片の下面図である。

[図16] $H^2 \times N$  (横軸) に対して接合強度  $F$  (接合強度  $F(AI)$ ) (縦軸) をプロットしたグラフである。

[図17]突起Pの高さ  $H$  (横軸) に対して接合強度  $F$  (縦軸) をプロットしたグラフである。

[図18]実施例16～21および比較例7～9の実験結果について、接合強度指数  $S$  (横軸) に対して接合強度  $F$  をプロットしたグラフである。

[図19]実施例16～21および比較例7～9の実験結果について、接合強度指数  $S$  (横軸) に対して空隙率  $G$  をプロットしたグラフである。

[図20]比較例6の評価用サンプルの150 $\mu$ m等高線図の一例である。

**発明を実施するための形態**

[0023] 第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、鋳鉄製の円筒部材であって、円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、かつ、以下の(A)～(F1)に示す特徴を有する。

(A) 突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満である。

(B) 外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数が、61個以上180個以下である。

(C) 突起Pには、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれる。

(D) 外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が、50%以上である。

(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上である。

(F1) 円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度F(A1)が、下式(2)に示す値F<sub>b</sub>を超える。

[0024] ・式(1)  $S = H^2 \times N \times NP$

・式(2)  $F_b = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$

ここで、式(1)および式(2)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率(%)を表し、F<sub>b</sub>は、境界接合強度(MPa)を表す。

[0025] また、第二の本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材における条件(F1)の代わりに、下記条件(F2)に示す特徴を有する。これ以外については、第二の本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材と同様である。

(F2) 外周面に存在する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数に対する、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の高さに対する最も括れた位置の高さの比率が0.65以下である括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が40%以上である。

[0026] なお、本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、(A)～(E)、(F1)および

(F 2) に示す条件を全て満たすことが好ましい。

[0027] 本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられる突起Pの高さは、特許文献1、2に例示された鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられる突起の高さよりも低い。このため、本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、特許文献1、2の鋳鉄製円筒部材と比べて、円筒部材本体部の厚みT<sub>b</sub>を薄くしなくても、鋳鉄製円筒部材の総厚みTを薄くすることが容易である。また、突起は、上記(A)～(E)および(F 1)に示す条件、あるいは、上記(A)～(E)および(F 2)に示す条件を全て満たすように鋳鉄製円筒部材の外周面に形成されるため、鋳鉄製円筒部材と外周側部材との間の接合強度および密着性も十分に確保できる。

[0028] (A) 突起Pの高さH

突起の高さHは0.20mm以上0.50mm未満である。突起Pの高さHを0.50mm未満とすることにより、鋳鉄製円筒部材の総厚みTを薄くすることが極めて容易となる。これに加えて、総厚みTを薄くするために、鋳鉄製円筒部材本体部の厚みT<sub>b</sub>を薄くする必要も無いため、鋳鉄製円筒部材本体部の厚みT<sub>b</sub>を薄くすることによる鋳鉄製円筒部材の強度低下を回避することもできる。一方、突起Pの高さHを0.20mm以上とすることにより外周側部材との接合強度の向上に効果的な括れた形状の突起P<sub>n</sub>を形成することが容易となる。このため、十分な接合強度を確保することが容易になる。

[0029] 突起Pの高さHは0.20mm以上0.50mm未満の範囲内において、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の用途や使用目的に応じて適宜選択することができる。たとえば、総厚みTをより薄くすることよりも接合強度の向上を優先したい場合には、突起Pの高さHを、0.25mm以上0.50mm未満とすることが好ましく、0.30mm以上0.50mm未満とすることがより好ましく、接合強度の向上よりも総厚みTをより薄くすることを優先したい場合には、突起Pの高さHを、0.20mm以上0.35mm以下とすることが好ましく、0.20mm以上0.30mm以下とすることがより好ま

しい。

[0030] なお、突起Pの高さHは、鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられた突起Pの基底面（外周基底面）を基準として、外周基底面から突起Pの頂面の最も高い部分までの距離を意味する。外周基底面は、外周面のうち、突起Pが設けられない領域と同じ高さであり、突起Pの高さは、この面の高さを基準（0 mm）に決定される。なお、突起Pの高さHの具体的な測定方法については後述する。

[0031] （B）突起Pの総数N

外周面の1 cm<sup>2</sup>当たりの突起Pの総数N（密度N）（以下、「突起数N」と略す場合がある）は、61個以上180個以下である。突起数Nを61個以上とすることにより、十分な接合強度を確保することが容易になる。また、突起数Nを180個以下とすることにより、括れた形状を有する突起P nの成形性が向上し、十分な接合強度を確保することが極めて容易になる。これに加えて、外周側部材を形成する際に用いる液状あるいは粉末状の外周側部材形成用原料を鋳鉄製円筒部材の外周面（鋳肌面）に付与するプロセスを経て、外周側部材を形成すると共に、本実施形態の鋳鉄製円筒部材と、外周側部材とを一体化する場合、隣り合う突起Pの間にも外周側部材形成用原料をスムーズに充填できる。このため、一体化された後の鋳鉄製円筒部材と外周側部材との接合界面に空隙が形成されるのを抑制し、十分な密着性を確保できる。なお、突起数Nは、70個～160個の範囲内がより好ましく、75個～145個の範囲内がさらに好ましく、80個～140個の範囲内が特に好ましい。

[0032] なお、外周側部材の形成に用いる外周側部材形成用原料としては、高温状態から冷却することにより固化する材料あるいは重合反応により硬化する液状材料、あるいは、加熱により融着もしくは焼結等する粉末状原料が利用できる。なお、液状材料にはペースト状材料も含まれる。液状原料の具体例としては、（i）鋳造であれば溶湯が挙げられ、（ii）樹脂を用いた成形であれば、射出成形などに用いられる熔融状態の樹脂材料、あるいは、型成形

、塗布成形もしくはインクジェット成形などに用いられる重合性単量体を主成分として含むペースト状または液状の硬化性組成物が挙げられる。粉末状原料の具体例としては、金属、無機酸化物もしくは樹脂、あるいは、これらの複合材料からなる粉末が挙げられる。

[0033] (C) 括れた形状を有する突起 P n

外周面に設けられる突起 P には、括れた形状を有する突起 P n が含まれる。以下に図面を用いて、突起 P および括れた形状を有する突起 P n について説明する。

[0034] 図 1 は、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の一例を示す外観斜視図であり、図 2 は、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられた括れた形状を有する突起の一例を示す拡大側面図であり、図 3 は、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面に設けられたその他の形状を有する突起の一例を示す拡大側面図である。なお、図中、符号 A は鋳鉄製円筒部材 10 の中心軸（あるいは軸方向）を表し、符号 R は、軸方向 A と直交する鋳鉄製円筒部材 10 の径方向を表す。なお、径方向 R は、突起 P の高さ方向と平行を成す方向でもある。

[0035] 図 1 に示す本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 には、鋳肌面からなる外周面 10 S に、鋳肌面と一体的に形成された複数の突起 P（図 1 中、不図示）が設けられている。図 2 に、図 1 の外周面 10 S を、外周面 10 S の接線方向 T N から観察した場合の突起 P の側面形状の一例を示す。

[0036] 図 2 に示す括れた形状を有する突起 P n は、外周面 10 S のうち、突起 P n が設けられていない領域（外周基底面 10 S b）を基準面（すなわち高さ 0 mm）として、径方向 R の外周側に向かって高さ h 1 だけ突出している。括れた形状を有する突起 P n は、(i) 外周基底面 10 S b 側から連続する部分である基底部 20 B と、(i i) 基底部 20 B と連続する部分であり、かつ、基底部 20 B の径方向 R の外周側に設けられた中間部 20 M と、(i i i) 中間部 20 M と連続する部分であり、中間部 20 M の径方向 R の外周側に設けられ、かつ、括れた形状を有する突起 P n の頂面 10 S t（外周面 10 S の一部）を有する頂部 20 T と、の 3 つの部分を含む。括れた形状

を有する突起P nの幅（軸方向Aと平行な方向の長さ）は、径方向Rの内周側から外周側へと向かうに従い、中間部2 0 Mにおいて極小値を示した後、頂部2 0 Tにおいて極大値を示す。

[0037] ここで、括れた形状を有する突起P nとは、より正確には、下式（3）～（5）を満たす突起を意味する。

・式（3）  $P T 0 - P M 0 > 0$

・式（4）  $P T 1 \geq P M 1$

・式（5）  $P T 2 \geq P M 2$

[0038] 式（3）～式（5）中、P T 0は、括れた形状を有する突起P nの頂部2 0 Tにおける幅（極大幅）を表し、P M 0は、括れた形状を有する突起P nの中間部2 0 Mにおける幅（極小幅）を表す。ここで、外周基底面1 0 S b（基準面、高さ0 mm）から径方向Rの外周側に向かって、極小幅P M 0を示す位置までの距離を、最も括れた位置の高さh wという。また、極小幅P M 0を2等分し、かつ、径方向Rと平行を成す線を、括れた形状を有する突起P nの中心線C pとした場合において、（a）極大幅P T 0を中心線C pに対しての2分した際に、P T 1は、幅方向の一方側の部分の幅長さを表し、P T 2は、幅方向の他方側部分の幅長さを表し、（b）極小幅P M 0を中心線C pに対しての2分した際に、P M 1は、幅方向の一方側の部分の幅長さを表し、P M 2は、幅方向の他方側部分の幅長さを表す。なお、本実施形態の鋳鉄製円筒部材1 0における括れた形状を有する突起P nにおいて、括れ量（P T 0 - P M 0）は、0 mmを超えていればよいが、通常は0. 0 2 mmから0. 2 4 mmの範囲程度である。

[0039] なお、突起Pが、式（3）～式（5）を満たす括れた形状を有する突起P nに該当するか否かの実際の判断は、鋳鉄製円筒部材1 0の中心軸Aと直交する平面上において、鋳鉄製円筒部材1 0の外周面における接線T Nに対して外周面1 0 Sから離れるように約3 0°の角度を成す方向から突起Pの側面をマイクロ스코プで観察することにより実施される。マイクロ스코プによる観察手順の詳細については後述する。

[0040] 一方、式(3)～式(5)の少なくともいずれかを満たさない突起Pは、その他の形状を有する突起P<sub>a</sub>に分類される。その他の形状を有する突起P<sub>a</sub>としては、典型的には、図3に例示する突起が挙げられる。図3に例示するその他の形状を有する突起P<sub>a</sub>は、外周面10Sのうち、突起P<sub>a</sub>が設けられていない領域(外周基底面10S<sub>b</sub>)を基準面(すなわち高さ0mm)として、径方向Rの外周側に向かって高さh<sub>2</sub>だけ突出している。その他の形状を有する突起P<sub>a</sub>は、図2に示す括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>と同様に、基底部20B、中間部20Mおよび頂部20Tの3つの部分から構成される。しかし、その他の形状を有する突起P<sub>a</sub>の幅は、径方向Rの内周側から外周側へと向かうに従い、徐々に減少するのみであり、中間部20Mにおける幅PMOが極小幅とはならない点で、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>とは異なっている。

[0041] なお、参考までに、図4に括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の一例を示す。ここで、図4(A)は、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の断面写真(金属顕微鏡写真)の一例であり、図4(B)は、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の側面を接線TNに対して約30°斜め上の方向からマイクロスコープで観察した際の側面写真の一例である。

[0042] (D) 括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の比率NP

外周面に存在する突起Pの数に対する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率NP(以下、「括れ比率NP」と略す場合がある)は、50%以上であり、60%以上が好ましく、70%以上がより好ましく、80%以上がさらに好ましく、90%以上が特に好ましい。括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>は中間部20Mが括れているため、本実施形態の鋳鉄製円筒部材10と、外周側部材とが強固に噛み合うことができる。このため、括れ比率NPを50%以上とすることにより、十分な接合強度を確保することが容易になる。また、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の比率の平均値NPは、個々の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の比率の平均値である。括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の比率の平均値NPの具体的な測定方法については後述する。

## [0043] (E) 接合強度指数 S

式(1)に示される接合強度指数 S は 310 以上であり、350 以上であることが好ましく、500 以上であることがより好ましい。接合強度指数 S を 310 以上とすることにより、十分な接合強度を確保することができる。

[0044] なお、特許文献 1, 2 に開示されるように、鑄鉄製円筒部材の外周面に括れた形状を有する突起を設けることで、鑄鉄製円筒部材と外周側部材との接合強度を向上できることが知られている。そして、特許文献 1 では、括れた形状を有する突起の高さ、括れた形状を有する突起の数、および、括れた形状を有する突起を所定の高さでスライスした際の面積率を制御することで高い接合強度を確保している。そこで、本発明者らも、同様に突起 P の高さ H や、突起 P の総数 N、面積率などの接合強度に影響すると考えられる個々の要因を制御することで接合強度の向上を試みた。しかし、突起 P の高さ H が 0.5 mm 未満では、これらの要因を制御しただけでは、接合強度が十分に確保できない場合が多々見出された。

[0045] このような事態が生じた理由は定かではないが、本発明者らは以下のように推測している。すなわち、特許文献 1 に示されるように突起 P の高さ H が 0.5 mm 以上である場合、中間部 20M が大きく括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> を形成することが非常に容易であるのに対して、突起 P の高さ H が 0.5 mm 未満では、括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の形成自体がより困難となる傾向にある。これに加えて、括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の括れ度合も相対的に小さくなり易い。また、本発明者らは、多数の突起 P を接線方向 T N および径方向 R 側から観察した場合において、突起 P の高さ H が 0.5 mm 未満の場合と、0.5 mm 以上の場合とでは、突起 P の輪郭形状が大きく異なり、相似性が低いことを見出した。これらのことから、突起 P の高さ H が従来と比べてより低くなった場合は、接合強度に大きく左右する要因の種類や、接合強度への各要因の寄与度合が大きく異なってくるものと推測される。そこで、本発明者らは試行錯誤の結果、突起 P の高さ H が 0.5 mm 未満の領域において、接合強度との相関性の極めて高い指標として、式(1)に

示す接合強度指数  $S$  を見出した。

[0046] (F 1) 境界接合強度  $F$

第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度  $F(A1)$  は、下式(2)に示す境界接合強度  $F_b$  以上である。

$$\cdot \text{式(2)} \quad F_b = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$$

[0047] 接合強度  $F(A1)$  が、式(2)に示す境界接合強度  $F_b$  を超えるため、第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、突起  $P$  の高さ  $H$  が  $0.2\text{ mm}$  以上  $0.5\text{ mm}$  未満の領域であっても、鋳鉄製円筒部材と、鋳鉄製円筒部材の外周面を鋳ぐるむ外周側部材(他の部材)とを、より強固に接合できる。

[0048] 接合強度と相関性を有する接合強度指数  $S$  は、式(1)から明らかなように、3つの変数(突起  $P$  の高さ  $H$ 、突起  $P$  の総数  $N$  および括れた形状を有する突起  $P_n$  の比率  $N_p$ )により特定されるパラメーターである。しかし、実際の接合強度は、突起  $P$  の形状的要素、特に接合強度を向上させる効果の高い括れた形状を有する突起  $P_n$  の様々な形状的要素、たとえば、括れ度合(極小幅  $PMO$  と極大幅  $PTO$  との比、高さ  $h_1$  と極小幅  $PMO$  を示す最も括れた位置の高さ  $h_w$  との比など)、平面形状、表面凹凸の有無・度合、形状の規則性・対称性などにも依存すると考えられる。この点では、接合強度指数  $S$  は、接合強度と高い相関性を有するものの、接合強度と  $100\%$  対応するパラメーターでは無い。また、突起  $P$  の高さ  $H$  が  $0.5\text{ mm}$  未満においては、突起  $P$  の高さ  $H$  と比べて相対的に括れた形状を有する突起  $P$  の形状的要素が、より接合強度に影響すると考えられる。

[0049] そこで、本発明者らは、上述した知見に基づいて、突起  $P$  の高さ  $H$  が  $0.2\text{ mm}$  以上  $0.5\text{ mm}$  未満の領域において、突起  $P$  の形状も考慮したパラメーターとして式(2)に示すように  $H^2 \times N$  の関数として定義される境界接合強度  $F_b$  を見出した。ここで、式(2)の右辺に示す1次関数において、傾き  $a = 1.325$  および切片  $b = -0.75$  は、 $H^2 \times N$  の値が一定の場合において、所定の接合強度を実現するのに必要な突起  $P$  の形状的要素を総合的

に代表する定数値と考えられる。すなわち、 $H^2 \times N$ の値が一定の場合において、実際に測定された接合強度  $F(A1)$  が、境界接合強度  $Fb$  を超える場合、突起  $P$  の形状的要素は、総合的にみて、接合強度の向上により適したものとなっており、接合強度  $F(A1)$  が  $Fb$  と同等あるいはこれ以下である場合、突起  $P$  の形状的要素は、総合的にみて、接合強度の向上により適さないものとなっていることを意味する。

[0050] なお、条件 (F1) においては、便宜上、第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鑄ぐるまれた際の接合強度  $F(A1)$  と、式 (2) に示す境界接合強度  $Fb$  とを比較することで、突起  $P$  の形状的要素が、総合的に見て接合強度の向上により適したものとなっているか否かを判断しているに過ぎない。したがって、第一の本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、アルミニウム合金製の部材と複合構造体を構成してもよいのみならず、勿論、アルミニウム合金以外の材料から構成される部材と複合構造体を構成することもできる。

[0051] (F2)  $0 < hw/h1 \leq 0.65$  を満たす括れた形状を有する突起  $P_n$  の比率  $NP2$

第二の本実施形態の鋳鉄製円筒部材では、外周面に存在する括れた形状を有する突起  $P_n$  の数に対する、括れた形状を有する突起  $P_n$  の高さ  $h1$  に対する最も括れた位置の高さ  $hw$  の比率 ( $hw/h1$ ) が  $0.65$  以下である括れた形状を有する突起  $P_n$  の数の比率  $NP2$  が  $40\%$  以上である。比率  $NP2$  は、 $45\%$  以上が好ましく、 $50\%$  以上がより好ましい。なお、比率  $NP$  の上限は特に限定されないが、 $100\%$  に近いほど好ましい。

[0052] 比率 ( $hw/h1$ ) は、図2に示すように、突起  $P_n$  の高さ  $h1$  と、突起  $P_n$  の極小幅  $PMO$  を示す最も括れた位置の高さ  $hw$  との比率であり、値が大きい程、突起  $P_n$  の高さ方向に対して、最も括れた位置がより高い位置に存在することを意味する。一方、本発明者らは、突起  $P$  の高さ  $H$  が  $0.2\text{mm}$  以上  $0.5\text{mm}$  未満の従来よりも低い突起  $P$  に関して、比率 ( $hw/h1$ ) の異なる様々な括れた形状を有する突起  $P_n$  を観察したところ、比率 ( $h$

w/h 1) が小さくなる程、括れ量 (PTO-PMO) が大きくなり、頂部 20T のサイズがより大きくなる傾向があることを把握した。ここで、頂部 20T のサイズがより大きくなると、鋳鉄製円筒部材と接合する相手材 (外周側部材) 側に、頂部 20T が深く食い込む形で存在することになる。このため、比率 NP2 が大きい程、鋳鉄製円筒部材と外周側部材との接合強度を増大させることができ、特に比率 NP2 を 40% 以上とすることにより、特許文献 3 等の従来技術と比較しても、突起 P の高さ H が 0.2 mm 以上 0.5 mm 未満の領域において接合強度を大幅に改善できる。

[0053] (G) 面積率 S1

本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 は、上述した (A) ~ (E) および (F1) に示す条件、あるいは、(A) ~ (E) および (F2) に示す条件を少なくとも満たしていればよいが、さらに面積率 S1 が 15% ~ 50% であることが好ましく、20% ~ 50% であることがより好ましい。面積率 S1 を 15% 以上とすることにより、突起 P の基底部 20B が太くなり、突起 P が折損し難くなるため、十分な接合強度を確保することがより容易となる。また、面積率 S1 を 50% 以下とすることにより、突起 P の基底部 20B およびその周囲の鋳肌面が粗くなるのを抑制できる。このため、外周側部材の形成に用いる溶湯等の外周側部材形成用原料により外周面 10S が覆われる際に、外周側部材と鋳鉄製円筒部材 10 との間に空隙が形成されるのを抑制でき、十分な密着性を確保することがより容易となる。

[0054] なお、面積率 S1 とは、非接触式三次元レーザ測定器を用いて、鋳鉄製円筒部材 10 の外周面 10S に対してレーザ光を照射することで、外周面 10S の 1 cm<sup>2</sup> 当たりを測定して得られる等高線図において、測定エリア (面積 1 cm<sup>2</sup>) 内における測定高さ 0.15 mm の等高線により囲まれる領域 (等高線と測定エリアの外周を成す境界線とで囲まれる領域も含む) の面積の比率を意味する。

[0055] <複合構造体および外周側部材>

本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 の用途は特に限定されるものではないが

、通常、外周面 10S の少なくとも一部が、外周側部材（他の部材）により覆われることにより、鋳鉄製円筒部材 10 と外周側部材とが一体化した状態で用いられることが特に好ましい。この場合、本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 と、本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 の外周面 10S の少なくとも一部を覆う外周側部材とを有し、鋳鉄製円筒部材 10S と外周側部材とが一体化している複合構造体を得ることができる。この複合構造体は、外周側部材が、アルミニウム合金、マグネシウム合金あるいは鉄合金などの金属製外周側部材であり、鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部が、金属製外周側部材により鋳包まれた鋳包構造体であることが好ましい。なお、鋳鉄製円筒部材 10 と外周側部材とを一体化する前後において、鋳鉄製円筒部材 10 の内周面に対して切削等の加工が施されていてもよい。

[0056] ここで、「鋳鉄製円筒部材 10 と外周側部材とが一体化した状態」とは、液状あるいは粉末状の外周側部材形成用原料により外周面 10S を覆うように付与した後、液状原料であれば冷却固化あるいは重合硬化させることにより、粉末状原料であれば加熱によって融着あるいは焼結等させることにより外周側部材を形成することによって、鋳鉄製円筒部材 10 と外周側部材とが接合された状態を意味する。上述したプロセスでは、液状原料あるいは粉末状原料が、外周面 10S 上において隣り合う位置にある複数の突起 P 間に充填されると共に、括れた形状を有する突起 P n の括れた部分にも充填される。このため、突起 P、特に、括れた形状を有する突起 P n が、外周側部材と強固に噛み合うことができ、高い接合強度を得ることができる。

[0057] なお、外周側部材を構成する材料は、鋳鉄製円筒部材 10 の用途に応じて適宜選択されるが、通常は、鋳鉄製円筒部材 10 を構成する材料とは異なる種類の材料が用いられることが好ましい。但し、必要に応じて、外周側部材を構成する材料として、鋳鉄製円筒部材 10 を構成する材料と同種の材料を用いることも可能である。

[0058] <シリンダライナおよびブレーキドラム>

なお、本実施形態の鋳鉄製円筒部材 10 の用途は特に限定されるものでは

ないが、たとえば、シリンダライナあるいはブレーキドラムとして利用することが特に好ましい。

[0059] 図5は、本実施形態の鋳鉄製円筒部材（シリンダライナ）を備えた内燃機関の一例を示す模式図である。図5に示す内燃機関20は、複数本のシリンダライナ30と、これら複数本のシリンダライナ30を鑄ぐるむシリンダブロック32（外周側部材）とが一体化した構造を有している。また、図5に示す内燃機関20においては、隣り合う2つのシリンダボア34間に冷却液流路36が設けられる。この冷却液流路36は、正確には、隣り合う2つのシリンダライナ30の外周面10S間に設けられる。なお、図5中、シリンダライナ30およびシリンダブロック32以外のその他の部材、および、外周面10Sに設けられた突起Pについては図示を省略してある。また、図5中に示すシリンダライナ30の肉厚Tは、突起Pの高さも含めた総厚みを意味する。なお、シリンダライナ30としては、鑄造直後の本実施形態の鋳鉄製円筒部材10の内周面（鋳肌面）が加工された状態の部材が用いられる。

[0060] また、シリンダブロック32を構成する材料としては、たとえば、軽量化及びコストを考慮して、アルミニウム合金材料を用いることができる。アルミニウム合金としては、例えば「JIS ADC10（関連規格米国ASTM A380.0）」あるいは「JIS ADC12（関連規格米国ASTM A383.0）」等を用いることができる。

[0061] 一方、内燃機関20においては、エンジン燃焼によるシリンダボア34の内壁面の温度を低下させる冷却方法が課題となっている。このため、隣り合う2つのシリンダボア34間に設けられている冷却液流路36の流路径（外径D）を大きくすることによりシリンダボア34の冷却効率を高めることができる。たとえば、シリンダボア34間の肉厚Bが8mm、冷却液流路36の外径Dが3mm、シリンダライナ30の肉厚Tが2.5mmの場合、シリンダライナ30と冷却液流路36との間の肉厚は0mmとなる。このため、冷却液流路36内を流れる水等の冷却液が、シリンダライナ30の外周面を経て燃焼室やクランクケース内へとリークし、このリークが原因となって、

エンジンの機能障害が発生する恐れもある。

[0062] ここで、シリンダライナ30として、たとえば、外周面10Sに突起Pの高さHが0.5mm以上の突起Pが設けられた特許文献1等に開示される従来のシリンダライナを用いる場合、シリンダライナ30と冷却液流路36との間の肉厚が0mmを超える値に設定するためには、シリンダライナ30の肉厚Tのうち、突起Pを除いたシリンダライナ30本体部の肉厚を薄くするか、あるいは、シリンダボア34間の肉厚Bをより厚くする必要がある。しかし、突起Pを除いたシリンダライナ30本体部の肉厚をより薄くした場合、シリンダライナ30の強度が低下してしまい、シリンダボア34の変形が生じやすくなる。また、シリンダボア34間の肉厚Bをより厚くした場合は、内燃機関20の冷却性能の低下を招く。

[0063] これに対して、シリンダライナ30として、外周面10Sに突起Pの高さHが0.50mm未満の突起Pが設けられた本実施形態の鋳鉄製円筒部材10を用いれば、シリンダボア34間の肉厚Bをより厚くしたり、シリンダライナ30本体部の肉厚を薄くしたりせずともシリンダライナ30と冷却液流路36との間の肉厚を0mmを超える値に設定することができる。また、シリンダボア34間の肉厚Bをより厚くする場合、冷却液流路36の外径Dをより大きくすることもできる。

[0064] たとえば、突起Pの高さ部分を除いたシリンダライナ30本体部の肉厚を一定としたままで、突起Pの高さHを0.75mmから0.35mmに変更すれば、シリンダライナ30の肉厚Tを0.40mm薄くすることができる。したがって、シリンダボア34間の断面構造を設計するに際して、0.80mmのマーヅンを得ることができる。それゆえ、このマーヅンを活用して、シリンダライナ30の強度を維持したまま、シリンダボア34間のシリンダライナ30を除いた部分（シリンダブロック32）の肉厚を薄肉化したり、あるいは、冷却液流路36の外径Dを拡径することで、内燃機関20の冷却性能を向上させることができる。

[0065] また、シリンダライナ30とシリンダブロック32との接合強度が不十分

な場合、シリンダボア34の変形が生じやすくなり、結果的に、ピストンあるいはピストンリングとシリンダライナ30との間のフリクションの増大を招く。さらにシリンダライナ30とシリンダブロック32との接合界面における密着性が不十分な場合、エンジン燃焼により発生する高熱が、シリンダライナ30側からシリンダブロック32側へと伝熱され難くなり、内燃機関20の冷却性能の悪化を招き易くなる。しかしながら、シリンダライナ30として本実施形態の鋳鉄製円筒部材10を用いた場合、シリンダライナ30とシリンダブロック32との間の接合強度および密着性に優れるために、上述したような問題を大幅に抑制することが容易である。さらに、本実施形態の鋳鉄製円筒部材10の場合、突起Pの高さHが低く、突起数Nが多いことから、外周面10Sからの放熱の均一性に有利である。

[0066] また、本実施形態の鋳鉄製円筒部材10は、内周面でブレーキシューと摺動する内接式ドラムブレーキのブレーキドラムとして用いることも好適である。図6は、本実施形態の鋳鉄製円筒部材（ブレーキドラム）を備えた内接式ドラムブレーキの一例を示す模式断面図であり、ホイールの回転軸を含む面でホイールを切断した場合の断面図について示している。なお、図6中、突起Pについては図示を省略してある。図6に例示したように、中心線Lを回転軸とするホイール40の一部を成す略円筒状のドラム部42（外周側部材）の内周面42Sには、ブレーキドラム44（本実施形態の鋳鉄製円筒部材10）が鋳包みにより装着されている。また、ブレーキドラム44の内周面44S側にはブレーキシュー46が配置されている。そして制動時には、ブレーキシュー46が、ブレーキドラム44の内周面44Sと接触して摺動する。なお、ドラム部42としては、軽量化および強度を考慮して、アルミニウム合金やマグネシウム合金などが利用できる。

[0067] なお、内接式ドラムブレーキでは、ブレーキドラム44とドラム部42との接合強度が不十分な場合、両者の間で相対変位が発生し、ドラム部42の変形を招き易くなる。これに加えてブレーキドラム44とドラム部42との密着性が不十分な場合、制動時にブレーキドラム44の内周面44Sとブレ

ーキシュー４６との摩擦により発生する摩擦熱をドラム部４２側へと放熱する際の伝熱性が低下し、ドラム部４２の永久変形を招き易くなる。しかしながら、ブレーキドラム４４として本実施形態の鋳鉄製円筒部材１０を用いた場合、ブレーキドラム４４とドラム部４２との間の接合強度および密着性に優れるために、上述したような問題を大幅に抑制することが容易である。さらに、本実施形態の鋳鉄製円筒部材１０の場合、突起Ｐの高さＨが低く、突起数Ｎが多いことから、外周面１０Ｓからの放熱の均一性に有利である。

[0068] <鋳鉄製円筒部材の製造方法>

次に、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の製造方法について説明する。まず、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の素材となる鋳鉄の組成は、特に限定されるものではなく、本実施形態の鋳鉄製円筒部材の使用用途に応じて適宜選択することができる。たとえば、耐摩耗性、耐焼き付き性および加工性を考慮したＪＩＳ ＦＣ２５０相当の片状黒鉛鋳鉄の組成として、以下に示す組成を例示できる。

C : 3.0 ~ 3.7 質量%

Si : 2.0 ~ 2.8 質量%

Mn : 0.5 ~ 1.0 質量%

P : 0.25 質量%以下

S : 0.15 質量%以下

Cr : 0.5 質量%以下

残部 Fe および不可避的不純物

[0069] 上記組成からなる片状黒鉛鋳鉄において、組織として、たとえば、基地組織はパーライト、黒鉛面積率が１０％以上、共晶硬化物相としてステナイト２％以下、遊離フェライト５％以下とし、機械的強度として、たとえば、硬さ９４～１０４ＨＲＢ、引張強さが２５０ＭＰa以上とすることができる。

[0070] また、本実施形態の鋳鉄製円筒部材１０は、図７に示す〔工程Ａ〕～〔工程Ｆ〕を含む遠心鋳造法により作製することが好ましい。なお、外周面１０Ｓに括れた形状を有する突起Ｐ<sub>n</sub>を設けた鋳鉄製円筒部材１０を遠心鋳造に

より製造する場合、特許文献1に開示されるように、突起Pの高さHを0.5mm未満に設定すると突起Pの成形性が低下し、十分な数の突起Pが形成されなくなるという問題があった。また、本発明者らが、特許文献1に開示の遠心鑄造法について検討したところ、突起Pの高さが低くなると、高さ方向において括れた部分を形成するマージンも小さくなるため、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の形成も困難になるという問題も見出した。

[0071] しかし、本発明者らは、遠心鑄造のプロセス全体を見直した以下に詳述する[工程A]～[工程F]により、突起Pの高さHを0.5mm未満に設定しても、突起Pの高さが0.20mm以上であれば十分な数の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が形成できることを見出した。また、本発明者らは、[工程C]で用いる所定の組成を有する塗型剤と、[工程C]における所定の範囲内の円筒状金型の温度とを組み合わせた場合、従来技術、特に特許文献3記載の技術と比較しても、接合強度の向上により有利な形状的要素を有する突起Pが形成できることを見出した。

[0072] [工程A]

工程Aでは、耐火基材、粘結剤、及び水を所定の比率で配合して懸濁液を作製する。

[0073] ここで、本実施形態の鑄鉄製円筒部材10の遠心鑄造においては、耐火基材、粘結剤、及び水の配合量として選択可能な範囲、並びに耐火基材の平均粒径として選択可能な範囲をそれぞれ以下のように設定することが好ましい。

耐火基材の配合量 : 25質量%～35質量%

粘結剤の配合量 : 3質量%～9質量%

水の配合量 : 62質量%～66質量%

耐火基材の平均粒径 : 0.002mm以上0.010mm以下

[0074] [耐火基材]

耐火基材の配合量を25質量%以上に設定することにより、塗型剤の断熱効果を十分に確保できるため、所望の鑄鉄基地組織を有する鑄鉄製円筒部材

10を得ることが容易になる。また、配合量を35質量%以下に設定することにより、塗型剤の流動性を低下させず金型の内周面へ塗型剤を均一に塗布することが容易になるため、鋳鉄製円筒部材10の外径精度を確保することが容易となる。なお、耐火基材としては珪藻土を用いることができる。

[0075] [耐火基材の平均粒径]

耐火基材の平均粒径を、0.002mm以上とすることにより十分な数の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>を形成することが容易になる。この結果、接合強度の確保も容易になる。また、平均粒径を0.010mm以下とすることにより、塗型剤により形成された塗型層の内周面が必要以上に粗面化するのを防止できる。この結果、突起Pの周囲に広がる外周基底面10S<sub>b</sub>を平滑化することが容易になり、外周基底面10S<sub>b</sub>と外周側部材との密着性が向上すると共に、両者の界面に空隙が生じるのを抑制することが容易となる。

[0076] [粘結剤]

粘結剤の配合量を3質量%以上とすることにより、塗型剤の結合強度を大きくできるため、形成される突起Pの高さが必要以上に高くなることを抑制できる。また、粘結剤の配合量を9質量%以下とすることにより、突起Pが必要以上に多く形成されることを抑制できる。このため、一定値以下の高さを有する突起Pが十分に形成できるため、十分な接合強度を確保することが容易になる。なお、粘結剤としてはベントナイトを用いることができる。

[0077] [水]

水の配合量を62質量%以上では、塗型剤の流動性を低下させず金型の内周面へ塗型剤を均一に塗布することになり、鋳鉄製円筒部材10の外径精度を確保する。また、水の配合量を66質量%以下では、塗型剤の必要な結合強度を確保し、突起Pの形成が容易になる。

[0078] [工程B]

工程Bでは、工程Aで調製した懸濁液に所定量の界面活性剤を添加して塗型剤を作製する。

[0079] [界面活性剤]

界面活性剤は、懸濁液質量100質量部に対して0.005質量部～0.04質量部の範囲で添加されることが好ましい。界面活性剤の添加量を0.005質量部以上とすることにより、塗型層内における界面活性剤の発泡作用が十分に発揮されるため、突起Pの形成が容易になる。このため、結果的に十分な接合強度を確保することも容易になる。また、界面活性剤の添加量を0.04質量部以下とすることにより、界面活性剤の発泡作用が過多となることを防ぎ、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>を形成することが容易になる。このため、結果的に十分な接合強度を確保することも容易になる。また、形成される突起Pの総数が必要以上に増大しないため、外周側部材の形成に際して外周面10S上において隣り合う複数の突起P間に、外周側部材形成用原料を隙間なく充填することも容易になる。このため、接合界面における空隙の発生を防いで、密着性を確保することも容易になる。

[0080] [工程C]

工程Cでは、図8(A)に示すように、180℃～240℃の温度に加熱された回転状態にある円筒状金型50(鋳型)の内周面50Sに塗型剤を噴霧塗布する。このとき、塗型剤の層(塗型層52)が内周面50S全周にわたって略均一の厚さに形成されるように塗型剤が塗布される。

[0081] ここで、突起Pは、以下に説明するプロセスを経て形成されるものと推定される。まず、円筒状金型50の内周面50S形成された塗型層52内には、塗型剤中の水分が急速に蒸発して複数の気泡54Aが形成される(図8(A))。次に、相対的にサイズの大きい気泡54A<sub>1</sub>(54A)に対して界面活性剤が作用したり、相対的にサイズの小さい気泡54A<sub>2</sub>(54A)同士が結合したりすることにより塗型層52の内周側に凹穴54Bが形成される(図8(B))。そして、塗型層52は円筒状金型50の内周面50Sから徐々に乾燥し、凹穴54Bを形成する塗型層52が円筒状金型50側から徐々に固化する過程で、塗型層52に括れた形状を有する凹穴54C<sub>1</sub>が形成される。なお、凹穴54Bの一部からは、塗型層52に凹穴54C<sub>1</sub>とは異なるその他の形状を有する凹穴54C<sub>2</sub>を形成されることもある(図8(

C) )。

[0082] 塗型層52の厚みは、突起Pの高さHの1.4倍～2.0倍の範囲内で選択することが好ましい。塗型層52の厚みがこの範囲内では、円筒状金型50の温度を上述したように240℃以下に設定することが特に好ましい。円筒状金型50の温度が240℃を超えると、塗型層52の乾燥速度が早いため塗型層52の円筒状金型50側が短時間に固化する。この際、塗型層52内に存在する小さい気泡54A2に対しても界面活性剤が作用することにより塗型層52内に凹穴54Bが形成される際、小さい気泡54A2が集合し、突起Pの頂部20Tが薄い偏平形状の突起Pが出現するようになる。鑄鉄製円筒部材10の外周面10Sはこの偏平形状の頂部20Tを有する突起Pに覆われ、外周面10S側から見える外周基底面10Sbの面積が小さくなる。従って、外周側部材の形成に際して鑄鉄製円筒部材10の外周面10S上に外周側部材形成用原料を隙間なく充填することが困難になり、十分な接合強度および密着性（小さい空隙率）が確保できなくなる。

[0083] また、生産性の観点からは、工程Cにおける円筒状金型50の温度は、工程Eにおける円筒状金型50との温度差が小さい方が好ましく、具体的には180℃以上であることが好ましい。ここで、工程Dから工程Eの間で円筒状金型50の温度が最高になる時点は、工程Eで円筒状金型50から鑄鉄製円筒部材を取り出した時点である。

[0084] [工程D]

工程Dでは、塗型層52が乾燥した後、回転状態にある円筒状金型50内へ鑄鉄を鑄込む。このとき、塗型層52の凹穴54C1、54C2内にも溶湯が充填されることで、鑄鉄製円筒部材10の突起P部分が形成される。なお、図8に示す例では、凹穴54C1が図2に示す括れた形状を有する突起Pnに対応し、凹穴54C2が図3に示すその他の形状を有する突起Paに対応する。

[0085] なお、以上に説明した鑄造条件により外周面10Sに形成された突起Pnおよび突起Paをその頂面10St側から見た場合、突起Pnおよび突起P

aの頂面10Stは、略平坦状、中央に凹みを有する略平坦状、離弁花冠状、あるいは、中央に凹みを有する離弁花冠状を有する傾向にある。また、外周面10Sに形成された突起P全体は、鑄造素材から構成されるが、凹穴54C1、54C2と円筒状金型50の間には塗型剤が介在し、突起Pの断面積が適度に小さいため、突起P部分には黒鉛がより多く析出する傾向がある。

[0086] [工程E]

工程Eでは、溶湯が固化して鑄鉄製円筒部材10が形成された後、塗型層52とともに鑄鉄製円筒部材10を円筒状金型50から取り出す。円筒状金型50の温度はこの時点が最高の温度になる。

[0087] [工程F]

工程Fでは、ブラスト処理装置により塗型層52を鑄鉄製円筒部材10の外周面10Sから除去する。

### 実施例

[0088] 以下に本発明を実施例を挙げて説明するが、本発明は以下の実施例にのみ限定されるものではない。なお、以下に示す第一の実験は、主に塗型剤の影響を評価する実験であり、第二の実験は、主に金型温度の影響を評価する実験である。

[0089] <第一の実験>

1. 鉄製製円筒部材の作製

同一組成の溶湯を用いて遠心鑄造により各実施例および比較例の鑄鉄製円筒部材を作製した。鑄造された鑄鉄製円筒部材の組成は、C：3.4質量%、Si：2.4質量%、Mn：0.7質量%、P：0.12質量%、S：0.035質量%、Cr：0.25質量%、残部Feおよび不可避免的不純物（JIS FC250相当）である。また、遠心鑄造に際しては、下記表1に示す塗型剤を用いた。

[0090]

[表1]

塗型剤の種類	塗型剤組成					界面活性剤 *1 [質量部]
	懸濁液組成			水		
	珪藻土 [質量%]	珪藻土平均粒径 [mm]	ベントナイト [質量%]	[質量%]		
A1	25	0.006	9	懸濁液成分の残量		0.02
A2	27.5	0.006	7.5	懸濁液成分の残量		0.02
A3	30	0.006	6	懸濁液成分の残量		0.02
A4	32.5	0.006	4.5	懸濁液成分の残量		0.02
A5	35	0.006	3	懸濁液成分の残量		0.02
B1	27.5	0.012	6	懸濁液成分の残量		0.02
B2	25	0.006	9	懸濁液成分の残量		0.045
B3	35	0.006	3	懸濁液成分の残量		0.002
B4	25	0.006	11	懸濁液成分の残量		0.02
B5	25	0.001	3	懸濁液成分の残量		0.02

(注) \*1は懸濁液100質量部に対する添加量を示す。

[0091] ここで、各実施例の鋳鉄製円筒部材の作製に用いた塗型剤A 1～A 5は、

上述した工程 A および工程 B で作製される好適な塗型剤組成および耐火基材の平均粒径を満たすものである。一方、後述する各比較例の鑄鉄製円筒部材の作製に用いた塗型剤 B 1 ~ B 5 は、上述した工程 A および工程 B で作製される好適な塗型剤組成および耐火基材の平均粒径のいずれかを満たさないものである。また、塗型剤 B 1 は、界面活性剤の添加量を塗型剤 A 1 ~ A 5 と同量となるように変更した点を除いて特許文献 1 の実施例 1 で用いた塗型剤の組成を真似て調製したものである。

[0092] また、いずれの塗型剤を用いて鑄鉄製円筒部材を製造する場合においても、工程 C における円筒状金型 5 0 の温度は 1 8 0 °C ~ 2 4 0 °C の範囲内に設定して、塗型層 5 2 を形成した。但し、塗型層 5 2 の厚みについては、各実施例および各比較例で適宜変更した。また、各実施例の鑄鉄製円筒部材の作製に際しては、同種の塗型剤を用いて形成する塗型層 5 2 の厚みを 3 水準設けることで、突起 P の高さ H が異なる鑄鉄製円筒部材を作製した。また、工程 D 以降については、いずれの実施例および比較例の鑄鉄製円筒部材を作製する場合においても同条件で実施した。その後、得られた鑄鉄製円筒部材の内周面を切削加工して、肉厚を 5. 5 mm に調整した。

[0093] 以上に説明するプロセスを経て得られた各実施例および各比較例の鉄製製円筒部材の寸法は、外径（突起 P の高さ H を含む外径）8 5 mm、内径は 7 4 mm（肉厚 5. 5 mm）であり、軸方向の長さは 1 3 0 mm である。なお、評価用サンプルとして作製した各実施例および比較例の鑄鉄製円筒部材の組成および寸法は、シリンダライナとして利用できるものである。

#### [0094] 2. 各種測定方法

次に、各実施例および比較例の鑄鉄製円筒部材について、以下の [ a ] ~ [ f ] を測定した。以下に、これらの測定方法を説明する。

[ a ] 突起 P の高さ H

[ b ] 突起数 N

[ c ] 括れ比率 N P

[ d ] 面積率 S 1

[ e ]空隙率 G

[ f ]接合強度 F (接合強度 F ( A l ) )

[0095] [ a ]突起 P の高さ H

各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材の外周面に形成された突起 P の高さ h (外周基底面 1 0 S b から突起 P の頂面 1 0 S t のうち最も高い部分までの距離) を、ダイヤルデプスゲージ (最小単位が 0. 0 1 m m ) により測定した。ダイヤルデプスゲージは、測定子が針状であり、測定物と接触して測定基準面となるベース面の幅が 1 6. 0 m m (面取り部分を除くと 1 4. 5 m m ) である。測定に際しては、ダイヤルデプスゲージ・ベース面の幅方向が鋳鉄製円筒部材の中心軸方向と平行を成すようにし、測定子が鋳鉄製円筒部材の外周面に対して垂直になるようにして測定した。測定は、各実施例および各比較例の鋳鉄製円筒部材の軸方向の両端側部分で実施した。この際、一方の端では直径方向に対向する 2 か所を測定し、他方の端でも直径方向に対向する 2 か所 (但し、一方の端の測定箇所から周方向に 9 0 度回転した位置) を測定した。そして、これら 4 か所で得られた突起 P の高さ h の平均値を突起 P の高さ H とした。

[0096] [ b ]突起数 N

突起数 N は、非接触式 3 次元レーザ測定器を用いて各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材の外周面を測定することで縦 1 c m × 横 1 c m の等高線図を得た後、この等高線図中の高さ 2 0 0 μ m の等高線で囲まれた領域の数をカウントして求めた。以下に具体的な測定方法を説明する。

[0097] まず、図 9 に示すように、XY テーブル 1 0 0 上に設置された測定台 1 0 2 (V ブロック) 上に評価用サンプル 1 1 0 (鋳鉄製円筒部材) を載置した。次に、評価用サンプル 1 1 0 の上方に配置された非接触式 3 次元レーザ測定器 1 2 0 (キーエンス製レーザフォーカス変位計: L T シリーズ) の下部に設けられたレーザ照射部 1 2 2 から、評価用サンプル 1 1 0 の外周面 1 1 0 S に向けてレーザ L を照射しつつ XY テーブル 1 0 0 を水平方向に移動させることで、評価用サンプル 1 1 0 の外周面 1 1 0 S の所定のエリア内をレ

ーザLで走査した。なお、図9中、X軸方向は、評価用サンプル110の中心軸Aと平行を成す方向である。また、X軸方向およびZ軸方向（鉛直方向）の双方に直交する方向（図中の紙面と垂直な方向）はY軸方向であり、水平方向はXY平面と平行な方向を意味する。

[0098] 測定に際しては、まず、Z軸方向と平行を成し、かつ、評価用サンプル110の外周面110Sに向けて照射されるレーザLが、外周面110Sに対して垂直に照射される位置を座標 $(X, Y) = (0, 0)$ に設定した。次に、座標 $(0, 0)$ を中心とする一辺が1cmの正方形の測定エリア内において、X軸が $-5.0\text{mm}$ から $+5.0\text{mm}$ までの範囲について、Y軸が $-5.0\text{mm}$ から $+5.0\text{mm}$ までの範囲について、それぞれ、 $0.1\text{mm}$ 間隔でXYテーブル100を移動させた。これにより、外周面110Sの測定エリア内をレーザLにより走査した。この際のレーザLの走査速度 $5500\mu\text{m}/\text{秒}$ である。ここで、測定エリア内のZ軸方向の位置を、各座標 $(X, Y)$ における座標Zとして測定する。この時のZ軸方向の測定分解能は $0.1\mu\text{m}$ である。また、レーザLの照射条件は、スポット径： $0.007\text{mm}$ 、焦点深度： $2\text{mm}$ である。

[0099] なお、測定エリアは緩やかな曲面を成すため、測定エリア内にてレーザLを走査することで得られた座標データ $(X, Y, Z)$ については、曲面からなるXY面を平面化する補正処理を行うことで、補正後の座標データ $(X, Y, Z)$ を得た。次に、補正後の座標データ $(X, Y, Z)$ を、表計算ソフトにより演算処理して、画像化することで測定エリアの等高線画像を得た。

[0100] そして、得られた等高線画像中に確認される外周基底面10SbのZ軸高さを基準値 $(0\text{mm})$ に設定した際に、Z軸高さが $0.20\text{mm}$ 未満の等高線を非表示とすることにより、測定エリアをZ軸高さ $0.20\text{mm}$ でスライスした等高線図 $(200\mu\text{m}$ 等高線図)を得た。参考までに、図10に、実施例8の評価用サンプルの $200\mu\text{m}$ 等高線図の一例を示す。図10中の黒い領域が、Z軸高さ $0.20\text{mm}$ 以上の領域である。

[0101] 次に、 $200\mu\text{m}$ 等高線図中において、(i) Z軸高さ $0.20\text{mm}$ の等

高線のみにより囲まれた1つの閉じた領域の数、および、(i i) Z軸高さ0.20mmの等高線と200 $\mu$ m等高線図の境界線とにより囲まれた1つの閉じた領域の数を、測定エリア内における突起Pの数としてカウントした。但し、突起Pの数のカウントに際しては、さらに以下の(1)～(3)に示すルールを適用した。

[0102] (1) (i) Z軸高さ0.20mmの等高線のみにより囲まれる1つの閉じた領域、および、(i i) Z軸高さ0.20mmの等高線と200 $\mu$ m等高線図の境界線とにより囲まれた1つの閉じた領域のうち、各領域のX軸方向の長さおよびY軸方向の長さがいずれも0.2mm以上(領域面積が0.04mm<sup>2</sup>以上)の領域のみを、原則としてカウント対象とする。

(2) 但し、上記(1)の例外として、図10に例示したような200 $\mu$ m等高線図中において、黒色で示される1つの閉じた領域の輪郭形状が、扁平形状または瓢箪形状である場合は、カウント対象外とする。ここで、カウント対象外とする「扁平形状または瓢箪形状」の1つの閉じた領域とは、この1つの閉じた領域の輪郭形状の短径に対する長径の比率(長径/短径)が、2以上のものを言う。

(3) 測定エリア内の突起Pの総数n(個/cm<sup>2</sup>)は、下式(6)に基づいて求める。

$$\cdot \text{式(6)} \quad n = n_{20} + n_{b20} / 2$$

ここで、式(6)中、 $n_{20}$ は、200 $\mu$ m等高線図内において、カウント対象とされたZ軸高さ0.20mmの等高線のみによって囲まれた領域の総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、 $n_{b20}$ は、200 $\mu$ m等高線図内において、カウント対象とされたZ軸高さ0.20mmの等高線と200 $\mu$ m等高線図の境界線とによって囲まれた領域の総数(個/cm<sup>2</sup>)を表す。また、式(6)中、 $n_{b20} / 2$ の値が整数でない場合は四捨五入して整数値とした後、突起Pの総数nを計算する。

[0103] 以上に説明した測定を、突起Pの高さHを測定した場合と同様の4箇所の測定ポイントで実施し、4箇所の測定ポイントにおける突起Pの総数nの平

均値を突起数  $N$  (個/cm<sup>2</sup>) として求めた。

[0104] [c] 括れ比率  $NP$

括れ比率  $NP$  は以下の手順にて求めた。まず、図 11 に示すように、水平なテーブル 200 の上に設置された断面形状が略 V 字状の V ブロック台 210 上に、評価用サンプル 110 を配置した。また、評価用サンプル 110 の斜め上方には、テレビモニタ (図中、不図示) に接続されたマイクロスコープ 220 (株式会社ハイロックス製デジタルマイクロスコープ KH-1300) を、マイクロスコープ 220 の光軸  $M$  が Z 軸方向 (鉛直方向) と平行を成すように配置した。なお、このマイクロスコープ 220 は、評価用サンプル 110 の中心軸  $A$  と直交する Z 軸方向の上方側を 0 度とした際に、評価用サンプル 110 の周方向  $P$  において、評価用サンプル 110 の外周面 110S の約 60 度の位置を観察できるように配置される。これにより、マイクロスコープ 220 により観察される測定エリア部分の外周面 110S における接線  $TN$  と、マイクロスコープ 220 の光軸  $M$  とは約 30 度の角度を成すように設定される。また、マイクロスコープ 220 の接眼レンズの倍率は 40 倍とした。なお、図 11 中、X 軸方向は、評価用サンプル 110 の中心軸  $A$  と平行を成す方向であり、Y 軸方向は、X 軸方向および Z 軸方向の双方と直交する方向である。

[0105] 次に、評価用サンプル 110 の外周面 110S 上のマイクロスコープ 220 の観察位置  $Ob$  よりもやや上方で、かつ、評価用サンプル 110 の一端側に補助光源 230 を配置した。そして、この補助光源 230 から、評価用サンプル 110 の軸方向  $A$  と略平行な方向に光を照射した。この際、テレビモニタに映る突起  $P$  の側面に光が当たって反射するように、補助光源 230 の位置や、光の照射方向などを微調整した。

[0106] 続いて、括れた形状を有する突起  $P_n$  の括れた部分も十分に確認できると共に、テレビモニタの中央部横方向のエリア内に焦点の合った突起  $P$  が 6 個以上観察できるように、V ブロック台 210 上に配置された評価用サンプル 110 の位置を微調整した。

[0107] そして、微調整を終えた後に、テレビモニタに映し出された評価用サンプル110の外周面110S上の突起Pをカウントした。図12は、テレビモニタに映し出された評価用サンプル110の外周面110Sの一例を示す拡大画像であり、図中の縦方向が評価用サンプル110の周方向Pを表し、図中の横方向Xが、評価用サンプル110の中心軸Aと平行を成す方向である。

[0108] 突起Pのカウントに際しては、テレビモニタに、横方向Xと平行な2本のカーソル線300A、300Bを、周方向Pに対して1mmの間隔を置いて表示させた。そして、テレビモニタに示された2本のカーソル線300A、300Bで囲まれた帯状の測定領域B内にて、上述した焦点合わせを実施した。なお、テレビモニタには、外周面110Sの横方向Xの長さで少なくとも6mm以上の領域が映し出されるように設定した。そして、測定領域B内に10個以上の突起Pが観察されることを条件として、測定領域B内に観察される各々の突起Pについて、突起Pが、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>であるかその他の形状を有する突起P<sub>a</sub>であるかに応じて、二種類のマーカ付けを行った。また、この際、突起Pが、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>に該当するか否かを判別するために、図4(B)に例示したように突起Pの各部の寸法を測定して式(3)～式(5)を満たすか否かを判断した。これにより測定領域B内において、一方の種類でマーカ付けされたその他の形状を有する突起P<sub>a</sub>の数q<sub>0</sub>と、他方の種類でマーカ付けされた括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数q<sub>1</sub>とをカウントした。

[0109] なお、カーソル線300A、300B上に位置する突起Pについては、突起Pの半分以上が測定領域B内に存在する場合のみ1個としてカウントし、それ以外は0個としてカウントした。また、カウント対象とすべき突起Pとしては、図2および図3に例示したように、一つの頂部20Tを有する突起Pの全周囲が実質的に外周基底面10S<sub>b</sub>のみにより囲まれて、他の突起Pと離間されたもののみを対象とした。それゆえ、図13に例示するような一の突起P<sub>1</sub>と、他の突起P<sub>2</sub>とが実質的に外周基底面10S<sub>b</sub>によって隔て

られず、突起P 1と突起P 2との間が、外周基底面10S bに対して突出すると共に、突起P 1の高さh 3および突起P 2の高さh 4よりも小さい高さを有する連結部20Cにより連結された状態の突起群P iについてはカウンタの対象外とした。

[0110] 以上に説明した測定を、突起Pの高さHを測定した場合と同様の4箇所の測定ポイントで実施し、各々の測定ポイントにおけるその他の形状を有する突起P aの数q 0および括れた形状を有する突起P nの数q 1を得た。そして、下式(7)に基づいて括れ比率NPを計算した。

・式(7) 括れ比率NP (%)

= 100 × 4箇所の測定ポイントのq 1の合計値 / (4箇所の測定ポイントのq 0の合計値 + 4箇所の測定ポイントのq 1の合計値)

[0111] [d]面積率S 1

面積率S 1は、突起数Nを測定する際に得た4箇所の測定ポイントにおける補正後の座標データ(X, Y, Z)に基づいて、表計算ソフトを使用し演算により計算し、4箇所の測定ポイントの面積率sの平均値として求めた。表計算ソフトから描画される等高線画像中に確認される外周基底面10S bのZ軸高さを基準値(0mm)に設定した際に、Z軸高さが0.15mm未満の等高線を非表示とすることにより、測定エリアをZ軸高さ0.15mmでスライスした等高線図(150μm等高線図)を得た。参考までに、図14に、実施例8の評価用サンプルの150μm等高線図の一例を示す。図14中の黒い領域が、Z軸高さ0.15mm以上の領域である。なお、図14に示す150μm等高線図は、図10に示す200μm等高線図のスライス位置を50μm低くしたものに該当する。

[0112] 各々の測定ポイントの面積率sは、下式(8)により定義される値である。

・式(8) 面積率s (%) = 100 × p s / b s

ここで、式(8)中、p sは、X軸の長さおよびY軸の長さが測定エリアの1cm(10mm)に相当する150μm等高線図において、(i) Z軸

高さ0.15 mmの等高線のみにより囲まれた領域の面積と、(ii) Z軸高さ0.15 mmの等高線と150 μm等高線図の境界線とにより囲まれた領域の面積と、の合計面積 (mm<sup>2</sup>、Z軸高さ0.15 mmの断面面積) である。また、bsは、150 μm等高線図の全面積 (100 mm<sup>2</sup> = 10 mm × 10 mm) である。

[0113] [e]空隙率G

空隙率Gの測定のために、まず、各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材を用いて作製した2気筒型シリンダを作製した。図15(A)に示すように、この2気筒型シリンダ400は、評価用サンプルとして作製した2本の鋳鉄製円筒部材410(シリンダライナ)の外周面全面をアルミニウム合金を用いてダイカスト鋳造により鋳ぐるむことで作製した。この際のダイカスト条件は以下の通りである。

—ダイカスト条件—

- ・アルミニウム合金材質：ADC12
- ・鋳込み圧力：60 MPa
- ・鋳込み速度：1.8 m/s
- ・溶湯温度：675℃
- ・シリンダブロック420の肉厚：8 mm
- ・シリンダボア430間の肉厚：15.4 mm (シリンダボア430間のアルミニウム合金部分の肉厚は4.4 mm)
- ・鋳鉄製円筒部材410(シリンダライナ)の高さ：130 mm
- ・鋳鉄製円筒部材410(シリンダライナ)の肉厚：5.5 mm

[0114] 次に、2つのシリンダボア430のボア中心軸B1、B2に対して直交するように、2気筒型シリンダ400の上端面から下方側に40 mmの位置と60 mmの位置とをそれぞれ切断して、厚さ20 mmの第一試験片402を得た。次に、第一試験片402の2つの切断面のうち、60 mmの位置で切断された切断面を研磨した。そして、この研磨面における鋳鉄製円筒部材410と、アルミニウム合金からなるシリンダブロック420との境界部BS

を金属顕微鏡により観察した。

[0115] 境界部BSの観察は、下記(a)～(c)に示す合計8カ所について実施した。

(a) 2つのボア中心軸B1、B2を結ぶ直線M1と境界部BSとが交差する箇所(小計4箇所)

(b) 直線M1と直交しかつボア中心軸B1を通る直線M2と境界部BSとが交差する箇所(小計2箇所)

(c) 直線M1と直交しかつボア中心軸B2を通る直線M3と境界部BSとが交差する箇所(小計2箇所)

[0116] ここで、各観察箇所において、境界部BSに沿って、連続した3枚の断面写真(倍率:100倍)を撮影した。次に、3枚の断面写真を画像処理(グレースケール化)して得られた画像に基づいて、観察対象とした画像内における鋳鉄製円筒部材410とシリンダブロック420との境界部BSに形成された空隙の面積(空隙面積GA)、および、観察対象とした画像の全面積SAとを求めた。ここで、各観察箇所における空隙率g(%)は下式(9)で示される。

$$\text{式(9)} \quad g = GA / SA \times 100$$

[0117] そして、8つの観察箇所における空隙率gの平均値を、空隙率Gとして求めた。

[0118] [f]接合強度F(接合強度F(AI))

空隙率Gの評価に用いた第一試験片402から、以下の(a)～(c)に示す部分(第二試験片A)、および、以下の(d)に示す部分(第二試験片B)を切り出した。

(a) 第一試験片402の長手方向の両端側において、第一試験片402と直線M1とが交差する部分を中心にして、第一試験片402を周方向に沿って20mm幅で切り出した部分。(小計2箇所)

(b) 第一試験片402の短手方向の両端側において、第一試験片402と直線M2とが交差する部分を中心にして、第一試験片402を周方向に沿っ

て20mm幅で切り出した部分。(小計2箇所)

(c) 第一試験片402の短手方向の両端側において、第一試験片402と直線M3とが交差する部分を中心にして、第一試験片402を周方向に沿って20mm幅で切り出した部分。(小計2箇所)

(d) 第一試験片402の長手方向の中央部(シリンダボア430間に相当する部分)において、第一試験片402を短手方向に沿って20mm幅で切り出した部分。

(小計1箇所)

[0119] 第二試験片Aは、一方の面側が凹面を形成する鋳鉄製円筒部材410からなる部分と、他方の面側が凸面を形成するシリンダブロック420からなる部分と、が一体化した2層構造を有する切断片である。また、第二試験片Bは、3層構造を有する切断片であり、両側の層が、凹面を形成する鋳鉄製円筒部材410からなる部分であり、これら両側の層と一体化した中央部の層がシリンダブロック420からなる部分である。

[0120] 次に、第二試験片A、Bの両面の凹凸形状に対応した接着面が設けられた引張試験用のアームを、第二試験片A、Bの両面に接着した。そして、引張試験機(島津製作所製、万能試験機:AG-5000E)を用いて、第二試験片A、Bの両面にそれぞれ接着された2つのアームの一方をクランプにより保持して固定した状態で、他方のアームを、鋳鉄製円筒部材410とシリンダブロック420との接合界面に対して略直交する方向に引張り荷重を加えた。ここで、第二試験片A、Bを構成する鋳鉄製円筒部材410からなる部分と、シリンダブロック420からなる部分とが剥離した際の引張り荷重を、接合強度 $f$ として測定した。そして、6つの第二試験片Aの接合強度 $f$ 、および、1つの第二試験片Bの接合強度 $f$ の平均値を接合強度 $F$ として求めた。なお、この接合強度 $F$ は、境界接合強度 $F_b$ との比較対象となる接合強度 $F(A1)$ でもある。

[0121] 以上に説明した各測定方法により各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材を測定した結果を表2および表3に示す。

[0122] [表2]

	塗料剤 種類	面積率 S1 (*1) [%]	突起Pの高さ H [mm]	突起数 N (*2) [個/cm <sup>2</sup> ]	括れ比率 NP [%]	接合強度指数 S S=H <sup>2</sup> × N × NP	境界接合強度 Fb Fb=1.325 × H <sup>2</sup> × N × 0.75
実施例1	A1	15	0.20	180	55.5	399.6	8.8
実施例2	A1	15	0.25	114	66.1	471.0	8.7
実施例3	A1	15	0.30	79	74.1	526.9	8.7
実施例4	A2	20	0.25	151	67.6	638.0	11.8
実施例5	A2	20	0.30	110	76.4	756.4	12.4
実施例6	A2	20	0.35	78	81.8	781.6	11.9
実施例7	A3	32	0.30	162	81.0	1181.0	18.6
実施例8	A3	32	0.35	118	92.3	1334.2	18.4
実施例9	A3	32	0.40	90	92.2	1327.7	18.3
実施例10	A4	43	0.35	145	87.9	1561.3	22.8
実施例11	A4	43	0.40	113	93.2	1685.1	23.2
実施例12	A4	43	0.45	88	98.6	1757.1	22.9
実施例13	A5	50	0.40	118	94.7	1787.9	24.3
実施例14	A5	50	0.45	91	98.4	1813.3	23.7
実施例15	A5	50	0.49	61	99.4	1455.8	18.7
比較例1	B1	47	0.40	31	61.3	304.0	5.8
比較例2	B2	17	0.20	232	27.6	256.0	11.5
比較例3	B3	30	0.20	20	0.0	0.0	0.3
比較例4	B4	55	0.17	0	0.0	0.0	—
比較例5	B5	15	0.20	147	15.6	92.0	7.0
比較例6	A5	50	0.51	61	96.8	1535.8	—

(注) 表中、\*1 は150μ m等高線図より、\*2 は200μ m等高線図よりそれぞれ計測している。

Fbは、0. 2mm ≤ H < 0. 5mmの範囲内のみにおいて求めた。

[0123]

[表3]

	接合強度F (接合強度F(AI)) [MPa]	FbとF(AI)の 大小関係	接合強度評価 A,B,C	空隙率 G [%]	空隙率評価 A,B,C	薄肉化評価 A,B,C
実施例1	9.8	Fb < F(AI)	B	0.48	A	A
実施例2	10.8	Fb < F(AI)	A	0.37	A	A
実施例3	11.7	Fb < F(AI)	A	0.26	A	A
実施例4	13.3	Fb < F(AI)	A	0.41	A	A
実施例5	15.0	Fb < F(AI)	A	0.32	A	A
実施例6	15.5	Fb < F(AI)	A	0.24	A	A
実施例7	21.5	Fb < F(AI)	A	0.39	A	A
実施例8	23.7	Fb < F(AI)	A	0.28	A	A
実施例9	23.6	Fb < F(AI)	A	0.14	A	A
実施例10	27.1	Fb < F(AI)	A	0.38	A	A
実施例11	28.9	Fb < F(AI)	A	0.32	A	A
実施例12	30.0	Fb < F(AI)	A	0.23	A	B
実施例13	30.4	Fb < F(AI)	A	0.58	B	A
実施例14	30.8	Fb < F(AI)	A	0.52	B	B
実施例15	25.5	Fb < F(AI)	A	0.47	A	B
比較例1	5.4	Fb > F(AI)	C	0.18	A	A
比較例2	4.8	Fb > F(AI)	C	0.87	B	A
比較例3	2.3	Fb < F(AI)	C	0.28	A	A
比較例4	2.7	—	C	1.34	C	A
比較例5	2.8	Fb > F(AI)	C	0.42	A	A
比較例6	27.3	—	A	0.48	A	C

[0124] なお、表3中に示す薄肉化評価、空隙率評価および接合強度評価の評価基準は以下の通りである。

[0125] ー薄肉化評価の評価基準ー

A : 突起Pの高さHが0.2 mm以上0.45 mm未満。

B : 突起Pの高さHが0.45 mm以上0.5 mm未満。

C : 突起 P の高さ H が 0.5 mm 以上。

[0126] - 空隙率評価の評価基準 -

A : 空隙率 G が 0.5 % 以下。

B : 空隙率 G が 0.5 % を超え 1.0 % 以下。

C : 空隙率 G が 1.0 % を超える。

[0127] - 接合強度評価の評価基準 -

A : 接合強度 F が 10.0 MPa 以上。

B : 接合強度 F が 6.0 MPa 以上 10.0 MPa 未満。

C : 接合強度 F が 6.0 MPa 未満。

[0128] < 第二の実験 >

表 4 に示す条件にて塗型剤と、工程 C における円筒状金型 50 の温度と、塗型層 52 とを組み合わせた以外は、第一の実験と同様にして各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材を得た。各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材について、第一の実験と同様にして各種の測定および評価を行った結果を表 4 および表 5 に示す。また、表 6 に、括れた形状を有する突起 P n の高さ h<sub>1</sub> に対する最も括れた位置の高さ h<sub>w</sub> の比率 (h<sub>w</sub>/h<sub>1</sub>) を、 $0 < h_w / h_1 \leq 0.35$ 、 $0.35 < h_w / h_1 \leq 0.65$ 、および、 $0.65 < h_w / h_1 < 1.0$  の範囲で区分した際の各区分毎の突起 P n の比率 A、B、C を示す。なお、表 6 中には、比率 NP2 および円筒状金型 50 の温度についても示した。

[0129]

[表4]

	塗型剤種類	円筒状金型温度 [°C]	塗型層厚さ [mm]	面積率 S1 (*1) [%]	突起Pの高さ H [mm]	突起数 N (*2) [個/cm <sup>2</sup> ]	括れ比率 NP [%]	接合強度指数 S $S=H^2 \times N \times NP$	境界接合強度 Fb $Fb=1.325 \times H^2 \times N-0.75$
実施例16	A1	200	0.5	16	0.25	115	60.0	431.3	8.8
実施例17	A3	200	0.6	33	0.35	117	73.5	1053.5	18.2
実施例18	A5	200	0.7	51	0.46	92	78.3	1523.5	25.0
実施例19	A1	240	0.5	15	0.25	114	59.5	423.9	8.7
実施例20	A3	240	0.6	32	0.35	118	73.8	1066.8	18.4
実施例21	A5	240	0.7	50	0.45	91	78.7	1450.2	23.7
比較例7	A1	280	0.5	14	0.24	129	59.7	443.5	9.1
比較例8	A3	280	0.6	30	0.34	130	74.6	1121.3	19.2
比較例9	A5	280	0.7	48	0.43	102	78.4	1479.2	24.2

(注) 表中、\*1 は150μm等高線図より、\*2 は200μm等高線図よりそれぞれ計測している。

円筒状金型温度は、塗型剤を円筒状金型に塗布し始めた時点の温度である。

[0130] [表5]

	接合強度F (接合強度F(AI)) [MPa]	FbとF(AI)の 大小関係	接合強度評価	空隙率 G [%]	空隙率評価	薄肉化評価
実施例16	11.3	Fb < F(AI)	A,B,C A	0.48	A,B,C A	A,B,C A
実施例17	21.2	Fb < F(AI)	A	0.39	A	A
実施例18	26.8	Fb < F(AI)	A	0.58	B	B
実施例19	9.6	Fb < F(AI)	B	0.37	A	A
実施例20	19.6	Fb < F(AI)	A	0.28	A	A
実施例21	24.8	Fb < F(AI)	A	0.52	B	B
比較例7	4.3	Fb > F(AI)	C	1.65	C	A
比較例8	13.7	Fb > F(AI)	A	1.86	C	A
比較例9	18.7	Fb > F(AI)	A	1.95	C	A

[0131]

[表6]

	円筒状 金型温度 [°C]	hw/h1が所定範囲内の括れた形状を有する突起Pnの比率(%)					
		A		B		C	
		0 < hw/h1 ≤ 0.35	0.35 < hw/h1 ≤ 0.65	0.65 < hw/h1 < 1.0	0 < hw/h1 ≤ 0.65	0 < hw/h1 < 1.0	A+B(比率NP2)
実施例16	200	25.0	25.0	50.0	50.0	50.0	100.0
実施例17	200	23.6	35.4	41.0	59.0	59.0	100.0
実施例18	200	18.8	43.8	37.5	62.5	62.5	100.0
実施例19	240	25.0	25.0	50.0	50.0	50.0	100.0
実施例20	240	22.2	33.3	44.4	55.6	55.6	100.0
実施例21	240	17.4	41.0	41.7	58.3	58.3	100.0
比較例7	280	10.4	10.4	79.2	20.8	20.8	100.0
比較例8	280	10.4	15.3	74.3	25.7	25.7	100.0
比較例9	280	6.3	13.9	79.9	20.1	20.1	100.0

(注) hw/h1は、個々の括れた形状を有する突起Pnの高さh1に対する括れた部分の位置における高さhwの比率を意味する  
円筒状金型温度は、壱型剤を円筒状金型に塗布し始めた時点の温度である。

[0132] [g]比率A、B、CおよびNP2

表6に示す比率A、B、Cは以下の手順にて求めた。まず、各実施例および比較例の鋳鉄製円筒部材の両端部から20mm～30mmの位置を、軸方向に直交する断面が露出するように切断した。次に、切断面を、研磨紙を用いて、研磨紙の粗さを、中目、細目、極細目（#1000以上）の順に変更しながら研磨した。この研磨処理を3本の鋳鉄製円筒部材について実施することで、研磨後切断面を有する厚さが20mm～30mmの測定用サンプルを6つ作製した。

[0133] 次に、研磨後切断面の外周端に存在する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の断面形状を、解析用ソフト付きテレビモニタに接続されたマイクロSCOPE220（株式会社ハイロックス製デジタルマイクロSCOPEKH-1300、接眼レンズ倍率：100倍）により観察した。この際、観察された個々の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の断面形状について、高さh<sub>1</sub>と最も括れた位置の高さh<sub>w</sub>とを測定した。なお、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>は、1つの測定用サンプル毎にランダムに24個選択し、合計144個の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の断面形状を観察した。

[0134] そして、144個の括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>については、比率（h<sub>w</sub>/h<sub>1</sub>）に関して、A区分（0<h<sub>w</sub>/h<sub>1</sub>≤0.35）、B区分（0.35<h<sub>w</sub>/h<sub>1</sub>≤0.65）、および、C区分（0.65<h<sub>w</sub>/h<sub>1</sub><1.0）に分類して、各々の区分に属する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数を求めた。そして、各々の区分に属する括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数を観察対象の総数（144個）で割ることにより、表6に示す比率A、B、Cを求めた。また比率Aと比率Bとの和から比率NP2も求めた。

[0135] <接合強度と各種形状パラメーターとの関係の評価>

図16に、H<sup>2</sup>×N（横軸）に対して接合強度F（接合強度F（A1））（縦軸）をプロットしたグラフを示す。但し、図16に示すグラフは突起Pの高さHが0.2mm以上0.5mm未満の場合について示したものである。また、図16中には、参考として、特許文献3の表1に開示された試験例（

実施例 1、4-6、8-9 および比較例 1-2、4) についてもプロットしてある。

[0136] 図 16 から明らかなように、全ての実施例において、接合強度  $F$  (接合強度  $F(A1)$ ) は、境界接合強度  $F_b$  を超える値を示している。これに対して、比較例については、実用的な接合強度  $F$  (接合強度  $F(A1)$ ) が得られていない比較例 3 (グラフの最も左端の■印) を除いて、接合強度  $F$  (接合強度  $F(A1)$ ) は、境界接合強度  $F_b$  を下回っている。また、特許文献 3 の表 1 に開示された試験例についても接合強度  $F$  (接合強度  $F(A1)$ ) は、境界接合強度  $F_b$  を大幅に下回っている。

[0137] これらの結果から、実用的な接合強度  $F$  (接合強度  $F(A1)$ ) の確保が比較的容易な範囲、すなわち、適度な突起  $P$  の高さ  $H$  と適度な突起数  $N$  とを有する範囲 ( $H^2 \times N$  が概ね 6.0 以上の範囲) では、本実施形態の鋳鉄製円筒部材は、比較例および特許文献 3 の表 1 に開示された試験例と比較して突起  $P$  の形状的要素は、総合的にみて、接合強度の向上により適したものとなっていると考えられる。

[0138] 図 17 に、突起  $P$  の高さ  $H$  (横軸) に対して接合強度  $F$  (縦軸) をプロットしたグラフを示す。但し、図 17 に示すグラフは突起  $P$  の高さ  $H$  が 0.2 mm 以上 0.5 mm 未満の場合について示したものである。また、図 16 中には、参考として、特許文献 3 の表 1 に開示された試験例 (実施例 1、4-6、8-9 および比較例 1-2、4) についてもプロットしてある。

[0139] 図 17 から明らかなように、同一の接合強度  $F$  であれば、実施例の方が、比較例および特許文献 3 の表 1 に開示の試験例と比較してより突起  $P$  の高さ  $H$  を低くできることが判る。したがって、本実施形態の鋳鉄製円筒部材を用いた複合構造体では、従来と同程度の接合強度を確保しつつ鋳鉄製円筒部材と外周側部材との接合部近傍のより一層の薄肉化を図ることが容易になると言える。

[0140] 図 18 に、実施例 16~21 および比較例 7~9 の実験結果について、接合強度指数  $S$  (横軸) に対して接合強度  $F$  をプロットしたグラフを示し、図

19に、実施例16～21および比較例7～9の実験結果について、接合強度指数S（横軸）に対して空隙率Gをプロットしたグラフを示す。なお、これらグラフ中には、製造条件（円筒状金型温度および塗型剤種類）についても示した。

[0141] 図18から明らかなように、(i)円筒状金型の温度が同一条件の場合、接合強度指数Sの増大に伴いほぼ直線的に接合強度Fが増大していること、および、(ii)同一の接合強度指数Sの場合、円筒状金型の温度が280℃から240℃へと減少すると急激に接合強度が増大するものの、円筒状金型の温度が240℃から200℃へと減少する場合の接合強度の増大幅は相対的により小さくなっていることが判る。

[0142] 接合強度指数Sには、突起Pの形状的要素のうち、括れ比率NPのみが反映されており、括れ比率NP以外の突起Pの形状的要素は反映されていないパラメーターである。この点を考慮すると、上記(ii)に示す現象は、円筒状金型の温度が280℃から240℃へと減少するに伴い括れ比率NP以外の突起Pの形状的要素が、接合強度Fを大幅に増加させるように変化していることを示唆すると考えられる。また、図19に示す結果も踏まえれば、この括れ比率NP以外の突起Pの形状的要素の変化は、空隙率Gの変化とも密接に関連していると考えられる。

[0143] <その他参考データ>

なお、参考までに、比較例6の評価用サンプルの150μm等高線図を図20に示す。

### 符号の説明

[0144] 10 : 鋳鉄製円筒部材  
 10S : 外周面  
 10Sb : 外周基底面  
 10St : 頂面  
 20 : 内燃機関  
 20T : 頂部

20M	: 中間部
20B	: 基底部
20C	: 連結部
30	: シリンダライナ
32	: シリンダブロック
34	: シリンダボア
36	: 冷却液流路
40	: ホイール
42	: ドラム部
42S	: 内周面
44	: ブレーキドラム
44S	: 内周面
46	: ブレーキシュー
50	: 円筒状金型
50S	: 内周面
52	: 塗型層
54A	: 気泡
54A1	: 大きい気泡
54A2	: 小さい気泡
54B	: 凹穴
54C1	: 凹穴
54C2	: 凹穴
100	: XYテーブル
102	: 測定台
110	: 評価用サンプル
110S	: 外周面
120	: 非接触式3次元レーザ測定器
122	: レーザ照射部

200	: テーブル
210	: Vブロック台
220	: マイクロスコープ
230	: 補助光源
300A	: カーソル線
300B	: カーソル線
400	: 2気筒型シリンダ
402	: 第一試験片
410	: 鋳鉄製円筒部材 (シリンダライナ)
420	: シリンダブロック
430	: シリンダボア

## 請求の範囲

### [請求項1]

鋳鉄製の円筒部材であって、

前記円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、

(A) 前記突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、

(B) 前記外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数が、61個以上180個以下であり、

(C) 前記突起Pには、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれ、

(D) 前記外周面に存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が、50%以上であり、

(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、

(F1) 前記円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度F(A1)が、下式(2)に示す値F<sub>b</sub>を超えることを特徴とする鋳鉄製円筒部材。

$$\cdot \text{式(1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

$$\cdot \text{式(2)} \quad F_b = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$$

[前記式(1)および前記式(2)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、前記突起Pの高さ(mm)を表し、Nは、前記外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数(個/cm<sup>2</sup>)を表し、NPは、前記外周面存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率(%)を表し、F<sub>b</sub>は、境界接合強度(MPa)を表す。]

### [請求項2]

鋳鉄製の円筒部材であって、

前記円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、

(A) 前記突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、

(B) 前記外周面の  $1 \text{ cm}^2$  当たりの前記突起 P の総数が、61 個以上 180 個以下であり、

(C) 前記突起 P には、括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> が含まれ、

(D) 前記外周面に存在する前記突起 P の数に対する前記括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の数の比率が、50% 以上であり、

(E) 下式 (1) に示す値 S が、310 以上であり、かつ、

(F 2) 前記外周面に存在する前記括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の数に対する、前記括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の高さに対する最も括れた位置の高さの比率が 0.65 以下である括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の数の比率が 40% 以上であることを特徴とする鋳鉄製円筒部材。

$$\cdot \text{式 (1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

[前記式 (1) 中、S は、接合強度指数を表し、H は、前記突起 P の高さ (mm) を表し、N は、前記外周面の  $1 \text{ cm}^2$  当たりの前記突起 P の総数 (個 /  $\text{cm}^2$ ) を表し、NP は、前記外周面に存在する前記突起 P の数に対する前記括れた形状を有する突起 P<sub>n</sub> の数の比率 (%) を表す。]

[請求項3] 前記 (A) ~ (E)、(F 1) および (F 2) に示す条件を満たすことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項4] 非接触式三次元レーザ測定器を用いて、前記外周面に対してレーザ光を照射することで、前記外周面の  $1 \text{ cm}^2$  当たりを測定して得られる等高線図において、測定高さ 0.15 mm の等高線により囲まれる領域の面積率を S<sub>1</sub> としたとき、前記面積率 S<sub>1</sub> が 15% ~ 50% であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項5] 前記接合強度指数 S が 500 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項6] 前記円筒部材と他の部材とが一体化されるように、前記円筒部材の

外周面の少なくとも一部が、前記他の部材により覆われていることを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項7] 前記円筒部材の内周面をピストン及びピストンリングが往復摺動する内燃機関用シリンダライナであることを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項8] 前記円筒部材の内周面でブレーキシューと摺動する内接式ドラムブレーキのブレーキドラムであることを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の鋳鉄製円筒部材。

[請求項9] 鋳鉄製の円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、

(A) 前記突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、

(B) 前記外周面の1cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数が、61個以上180個以下であり、

(C) 前記突起Pには、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれ、

(D) 前記外周面に存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が、50%以上であり、

(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、

(F1) 前記円筒部材の外周面がアルミニウム合金により鋳ぐるまれた際の接合強度F(A1)が、下式(2)に示す値F<sub>b</sub>を超える鋳鉄製円筒部材と、

前記鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部を覆う外周側部材とを有し、

前記鋳鉄製円筒部材と前記外周側部材とが一体化していることを特徴とする複合構造体。

・式(1)  $S = H^2 \times N \times N P$

・式(2)  $F b = 1.325 \times H^2 \times N - 0.75$

[前記式(1)および前記式(2)中、Sは、接合強度指数を表し、

Hは、前記突起Pの高さ（mm）を表し、Nは、前記外周面の1 cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数（個/cm<sup>2</sup>）を表し、NPは、前記外周面に存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率（%）を表し、F<sub>b</sub>は、境界接合強度（MPa）を表す。]

## [請求項10]

鋳鉄製の円筒部材の外周面が、鋳肌面からなると共に前記鋳肌面と一体的に形成された複数の突起Pを有し、

(A) 前記突起Pの高さが、0.20mm以上0.50mm未満であり、

(B) 前記外周面の1 cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数が、61個以上180個以下であり、

(C) 前記突起Pには、括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>が含まれ、

(D) 前記外周面に存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が、50%以上であり、

(E) 下式(1)に示す値Sが、310以上であり、かつ、

(F2) 前記外周面に存在する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数に対する、前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の高さに対する最も括れた位置の高さの比率が0.65以下である括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率が40%以上である鋳鉄製円筒部材と、

前記鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部を覆う外周側部材とを有し、

前記鋳鉄製円筒部材と前記外周側部材とが一体化していることを特徴とする複合構造体。

$$\cdot \text{式(1)} \quad S = H^2 \times N \times NP$$

〔前記式(1)中、Sは、接合強度指数を表し、Hは、前記突起Pの高さ（mm）を表し、Nは、前記外周面の1 cm<sup>2</sup>当たりの前記突起Pの総数（個/cm<sup>2</sup>）を表し、NPは、前記外周面に存在する前記突起Pの数に対する前記括れた形状を有する突起P<sub>n</sub>の数の比率（%）

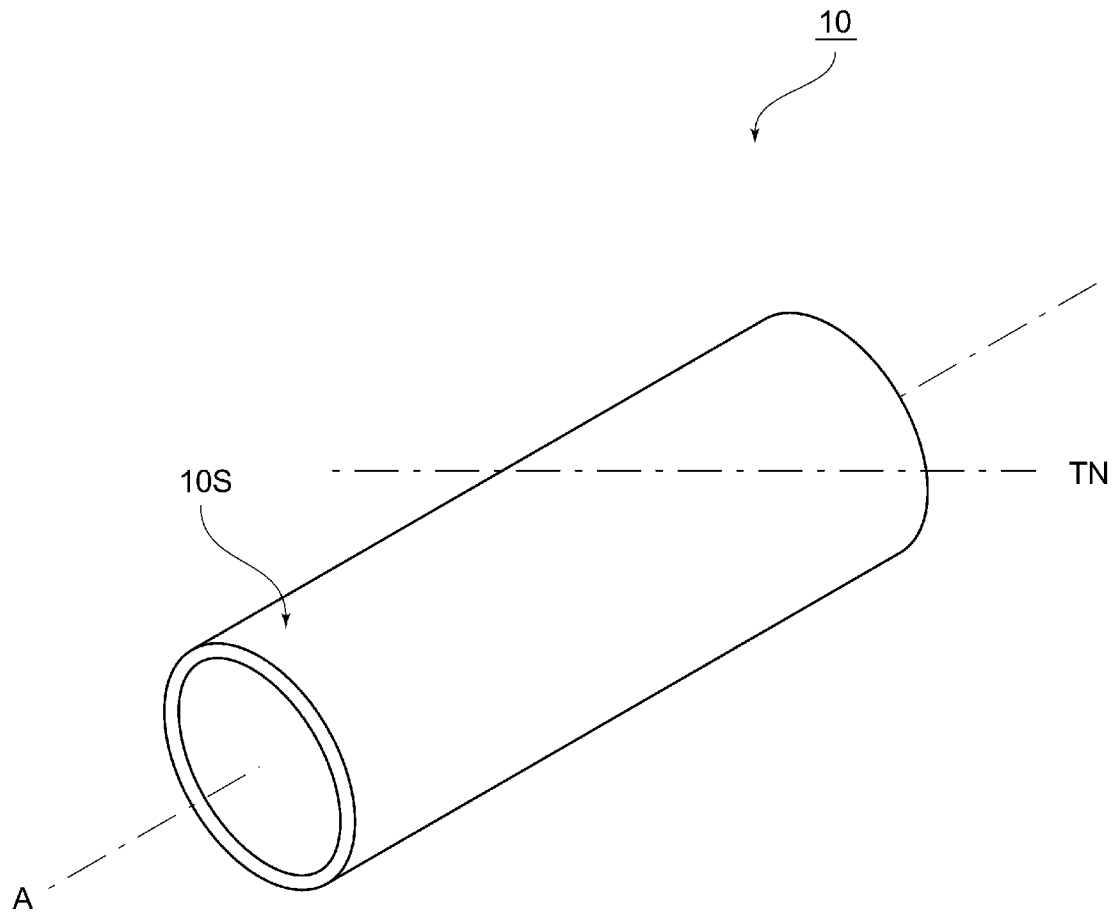
)を表す。]

[請求項11] 前記(A)～(E)、(F1)および(F2)に示す条件を満たすことを特徴とする請求項9または10に記載の複合構造体。

[請求項12] 前記外周側部材が、金属製外周側部材であり、  
前記鋳鉄製円筒部材の外周面の少なくとも一部が、前記金属製外周側部材により鋳包まれていることを特徴とする請求項9～11のいずれか1つに記載の複合構造体。

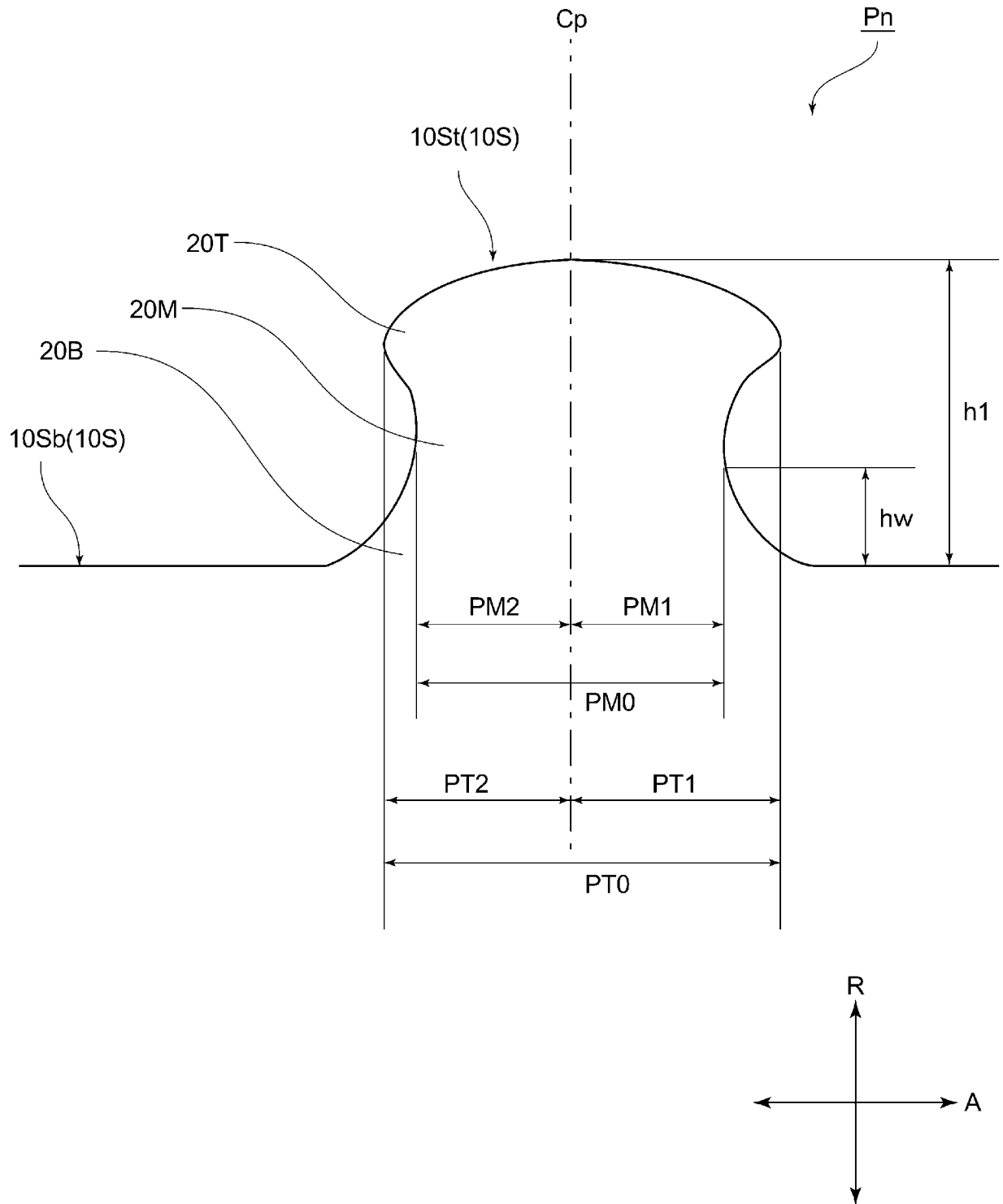
[図1]

Fig.1



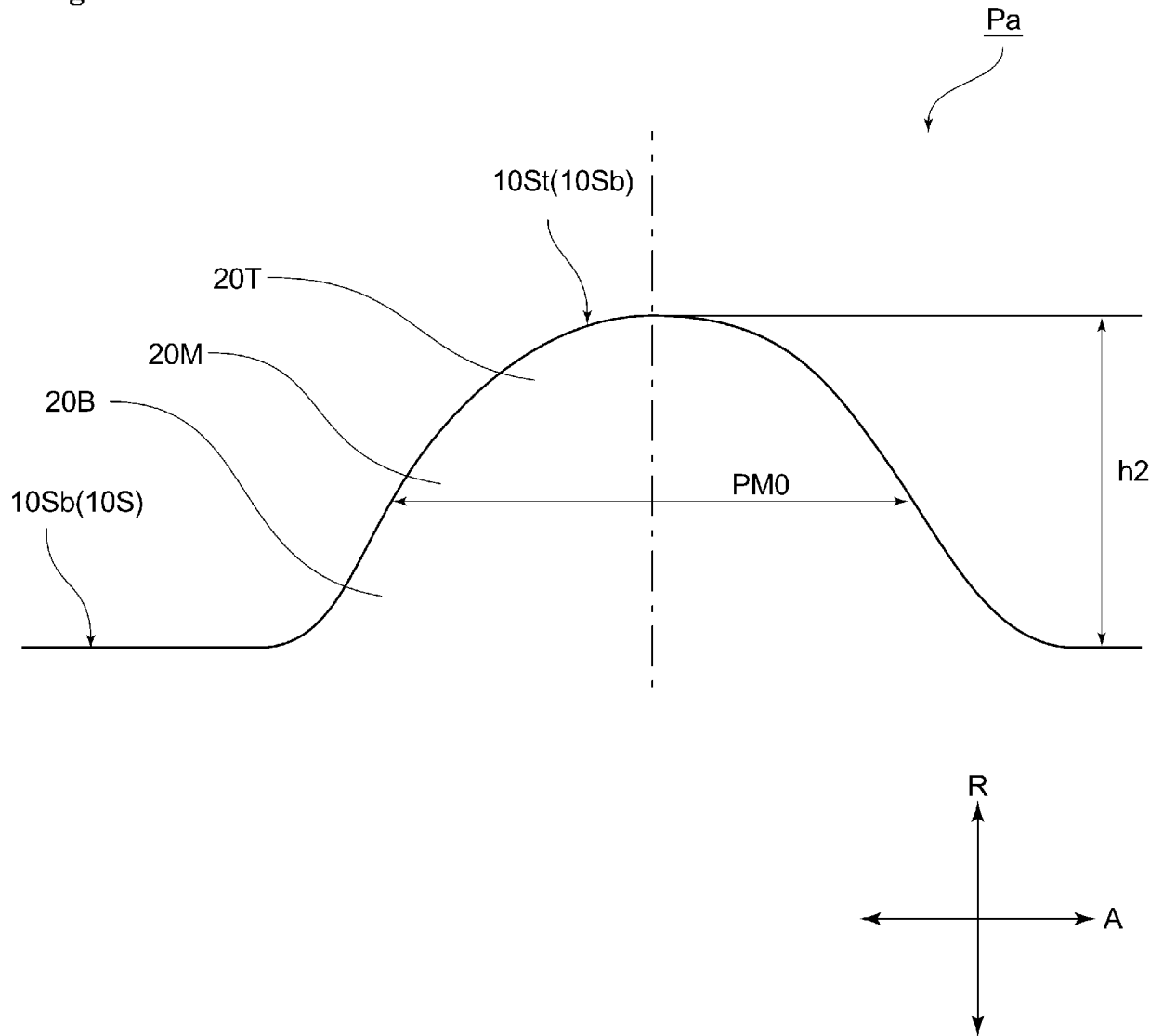
[図2]

Fig.2



[図3]

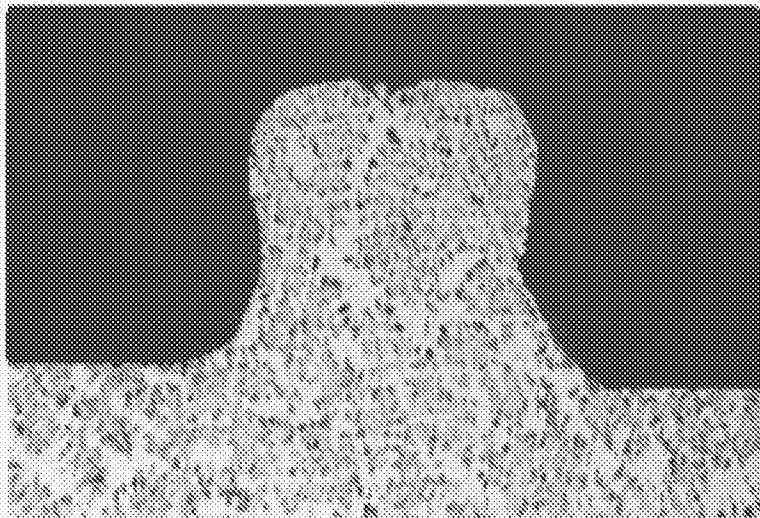
Fig.3



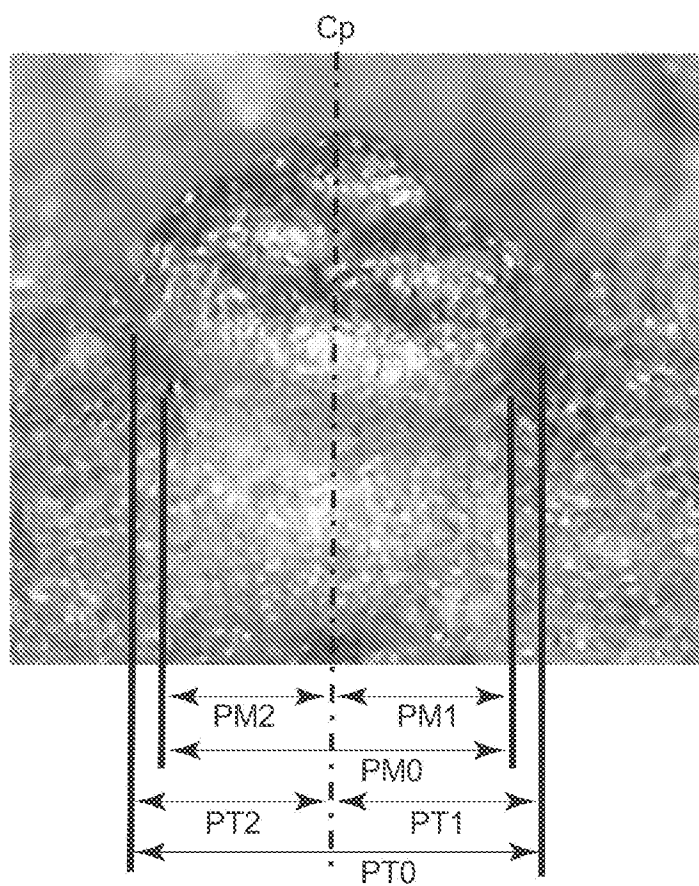
[図4]

Fig.4

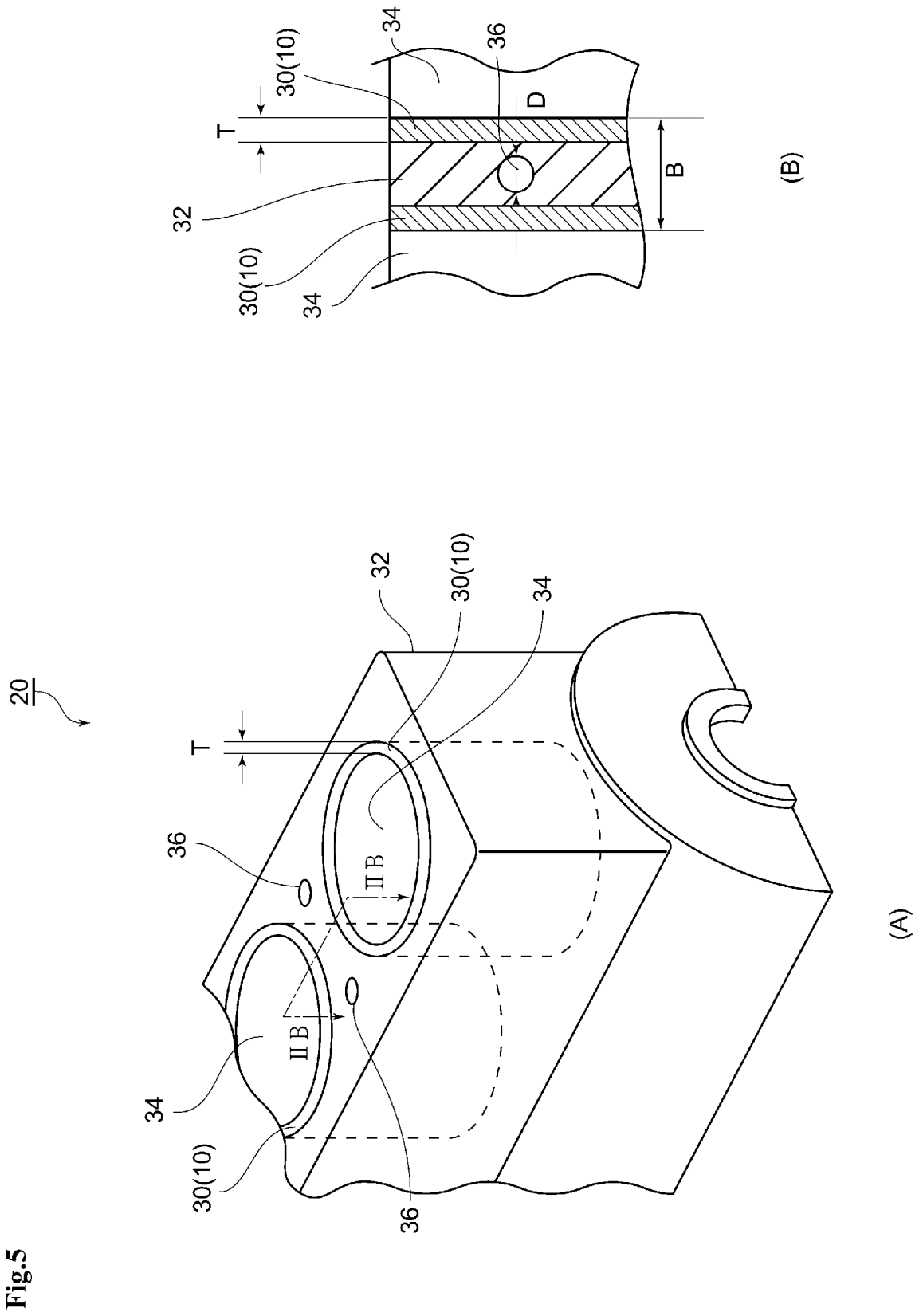
(A)



(B)

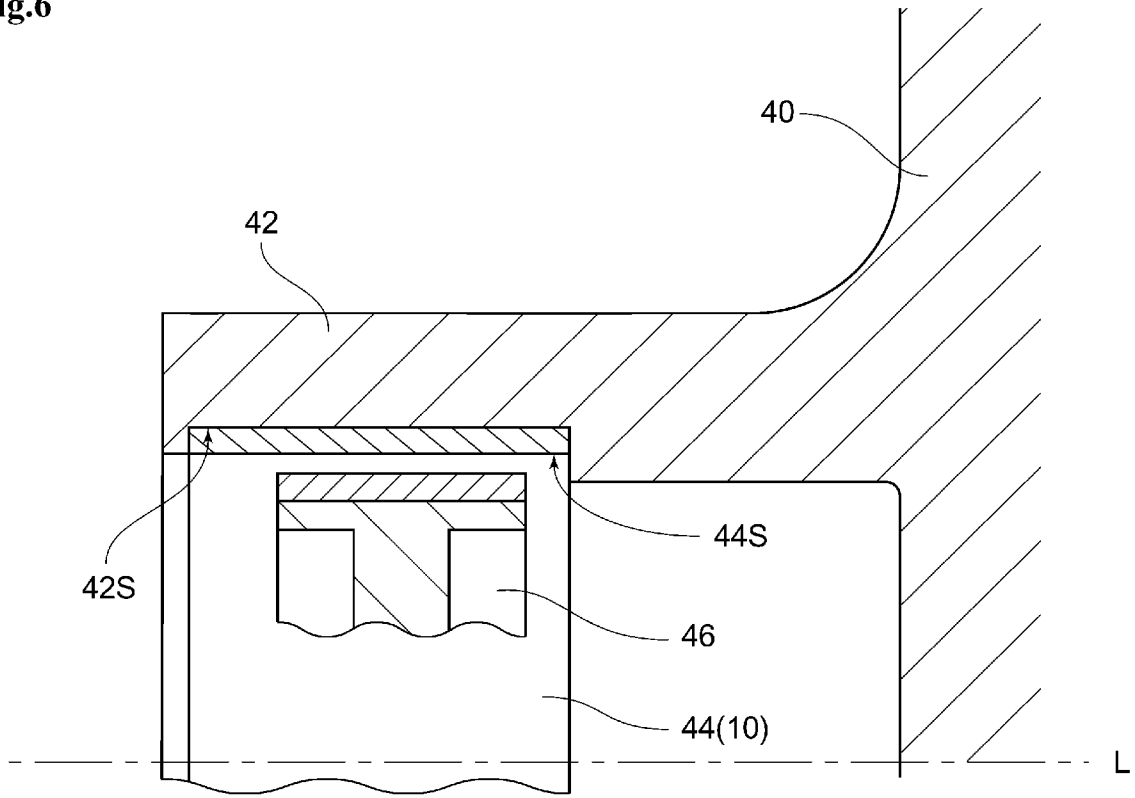


[図5]



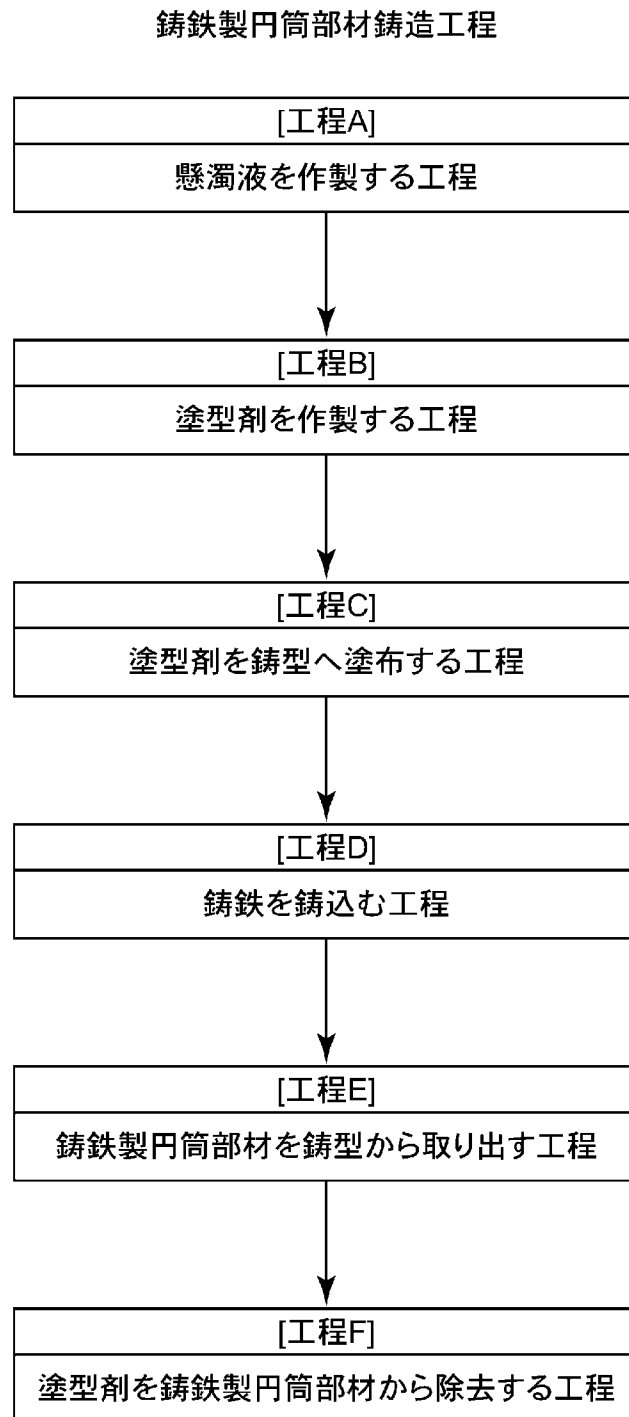
[図6]

Fig.6



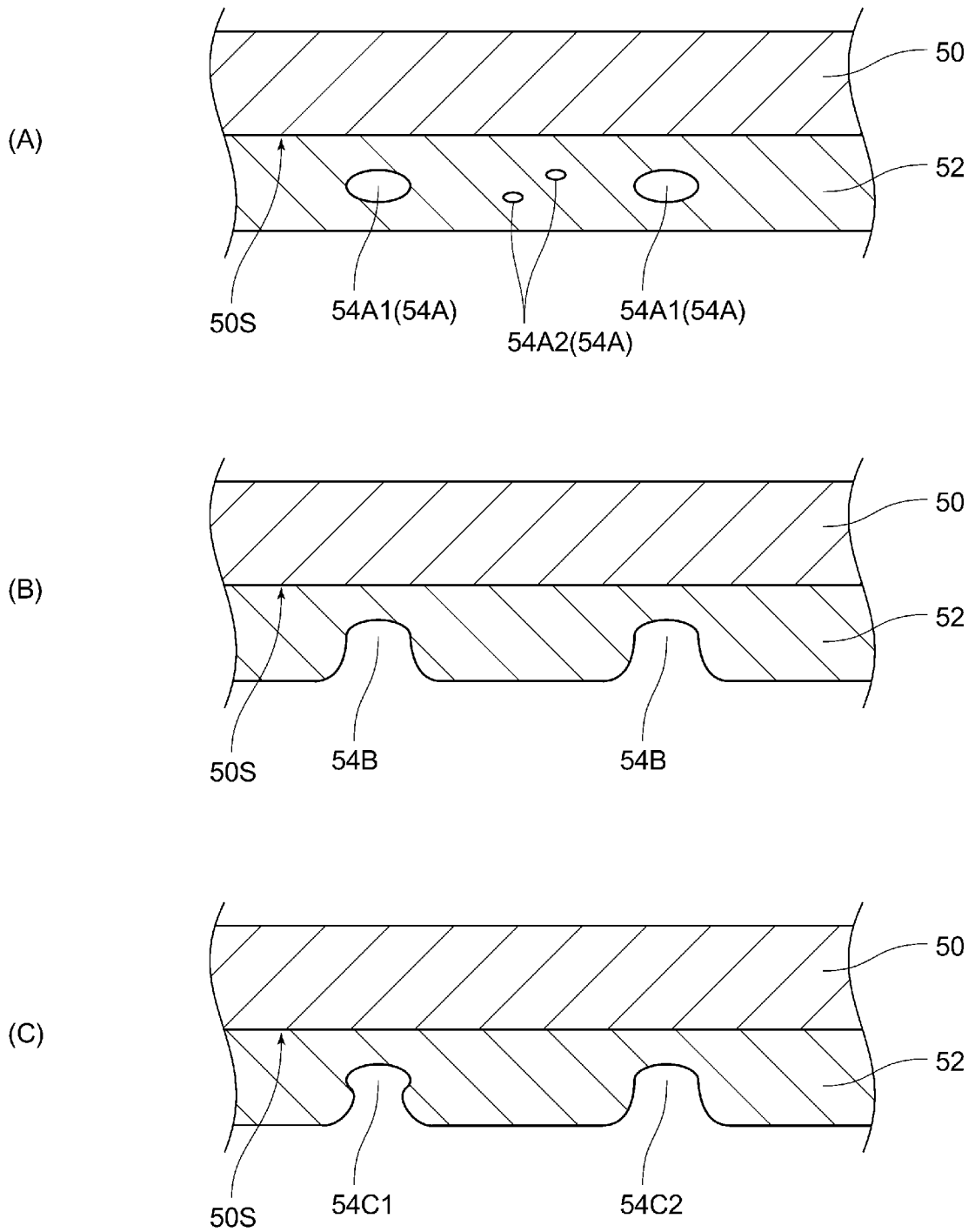
[図7]

Fig.7



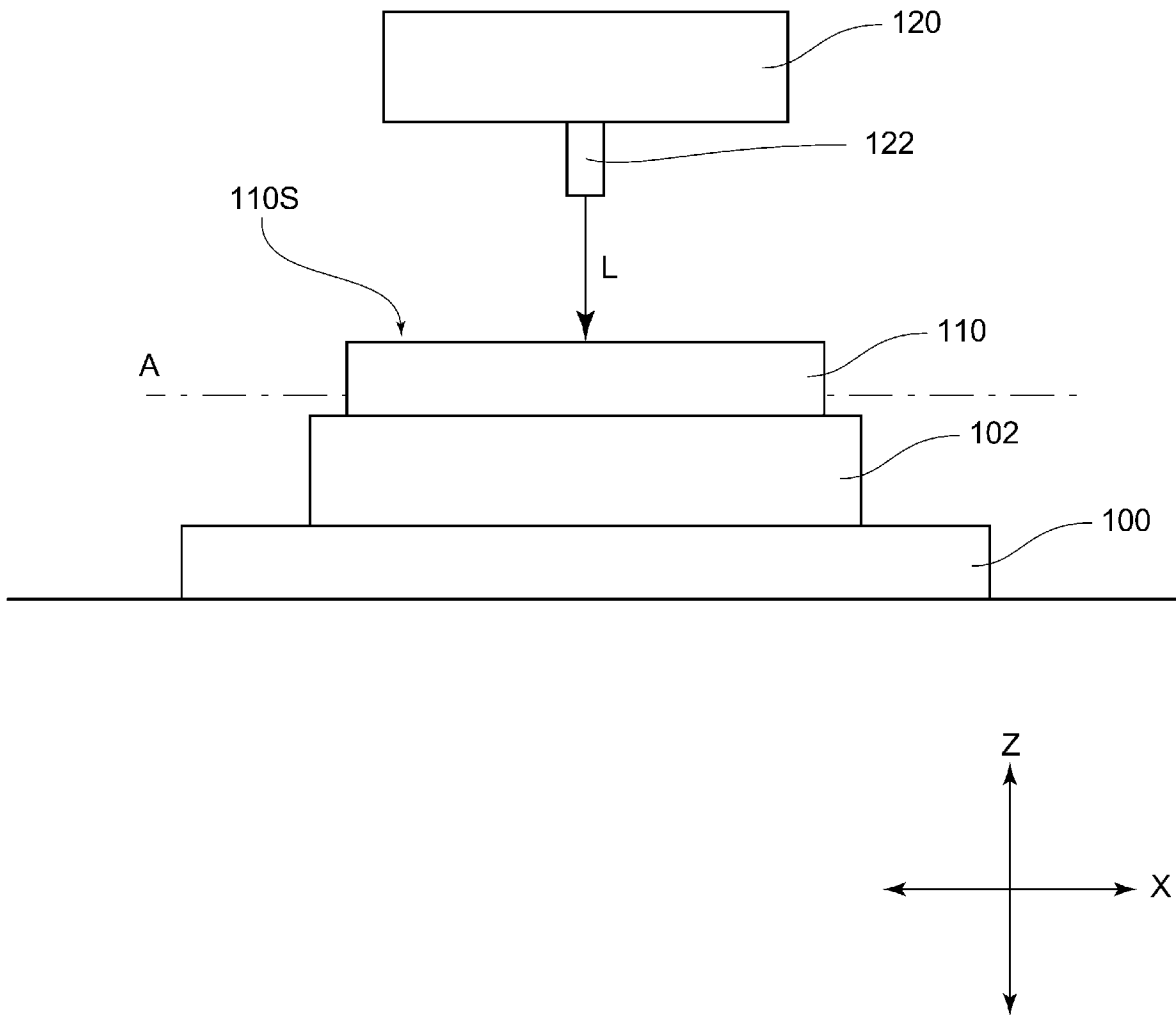
[図8]

Fig.8

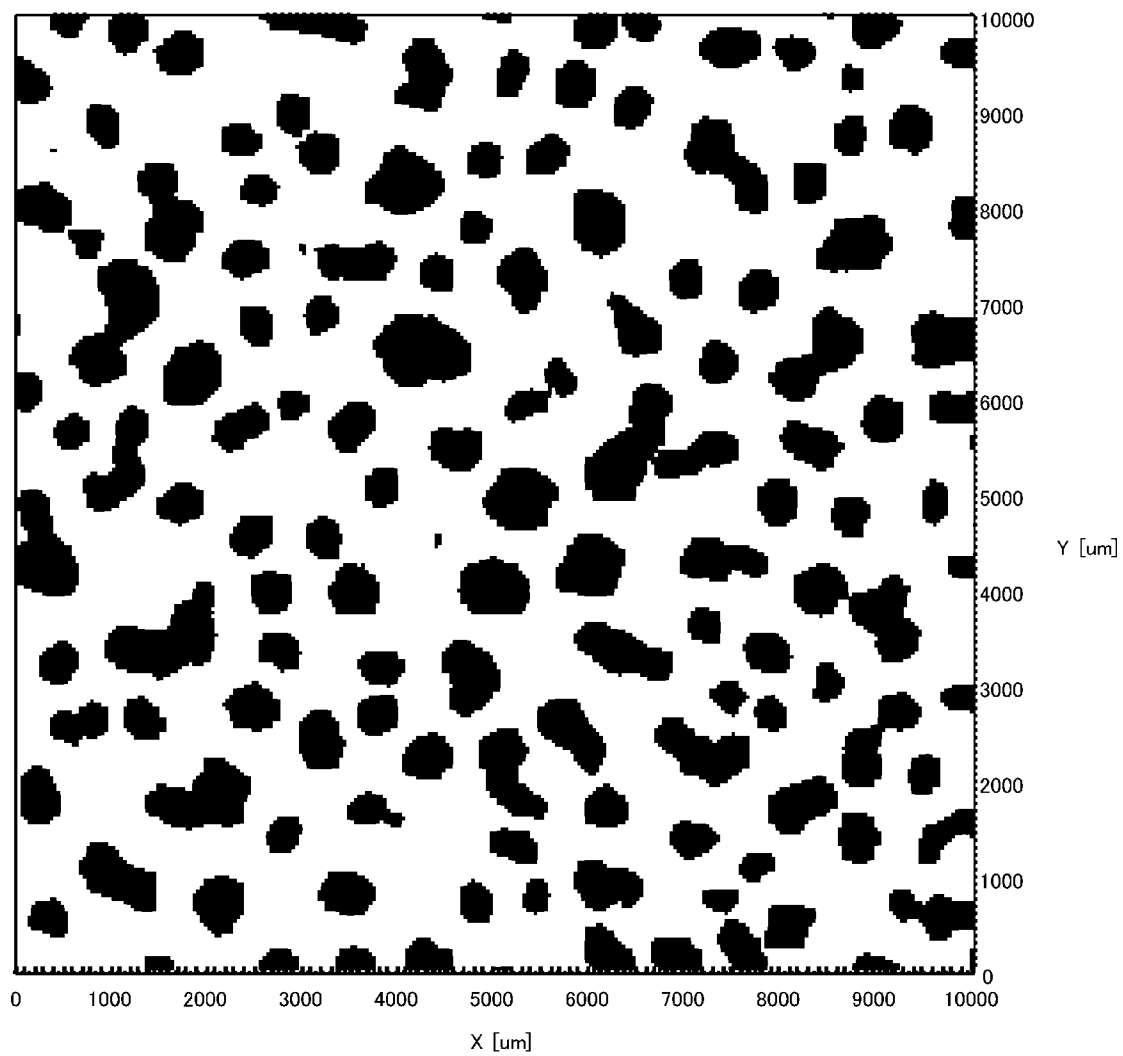


[図9]

Fig.9



[図10]

200  $\mu\text{m}$  等高線図

[11]

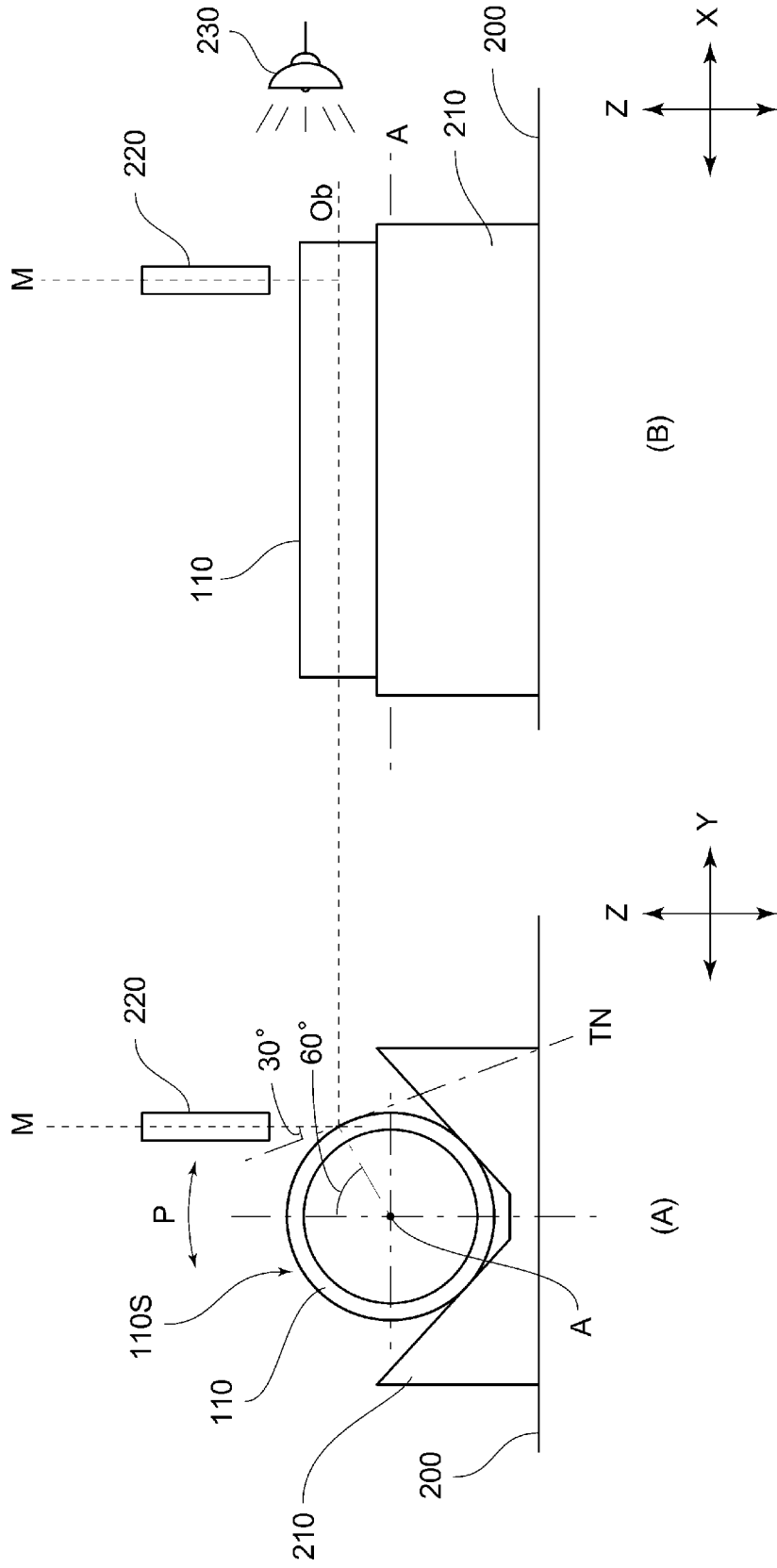


Fig.11

[12]

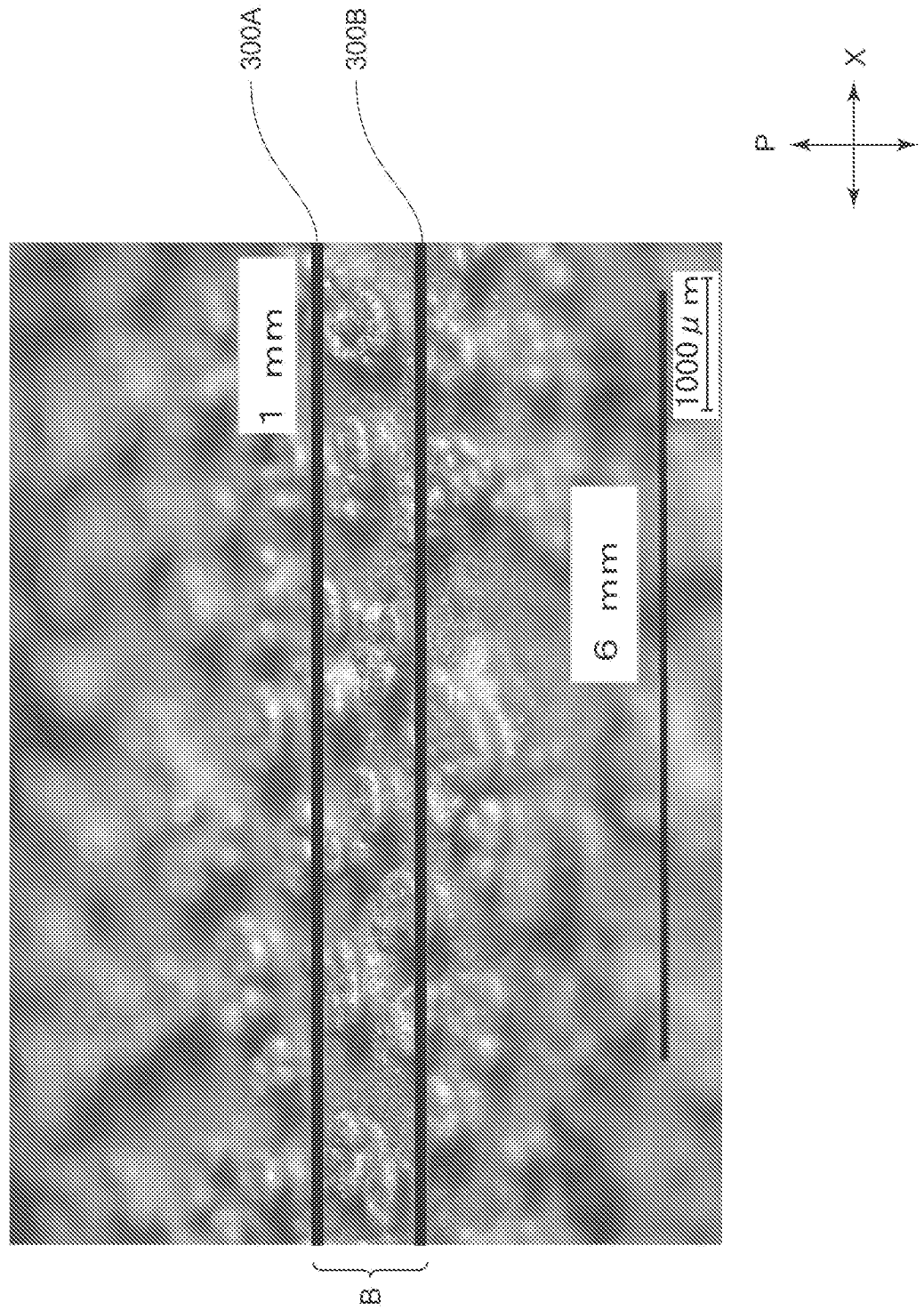
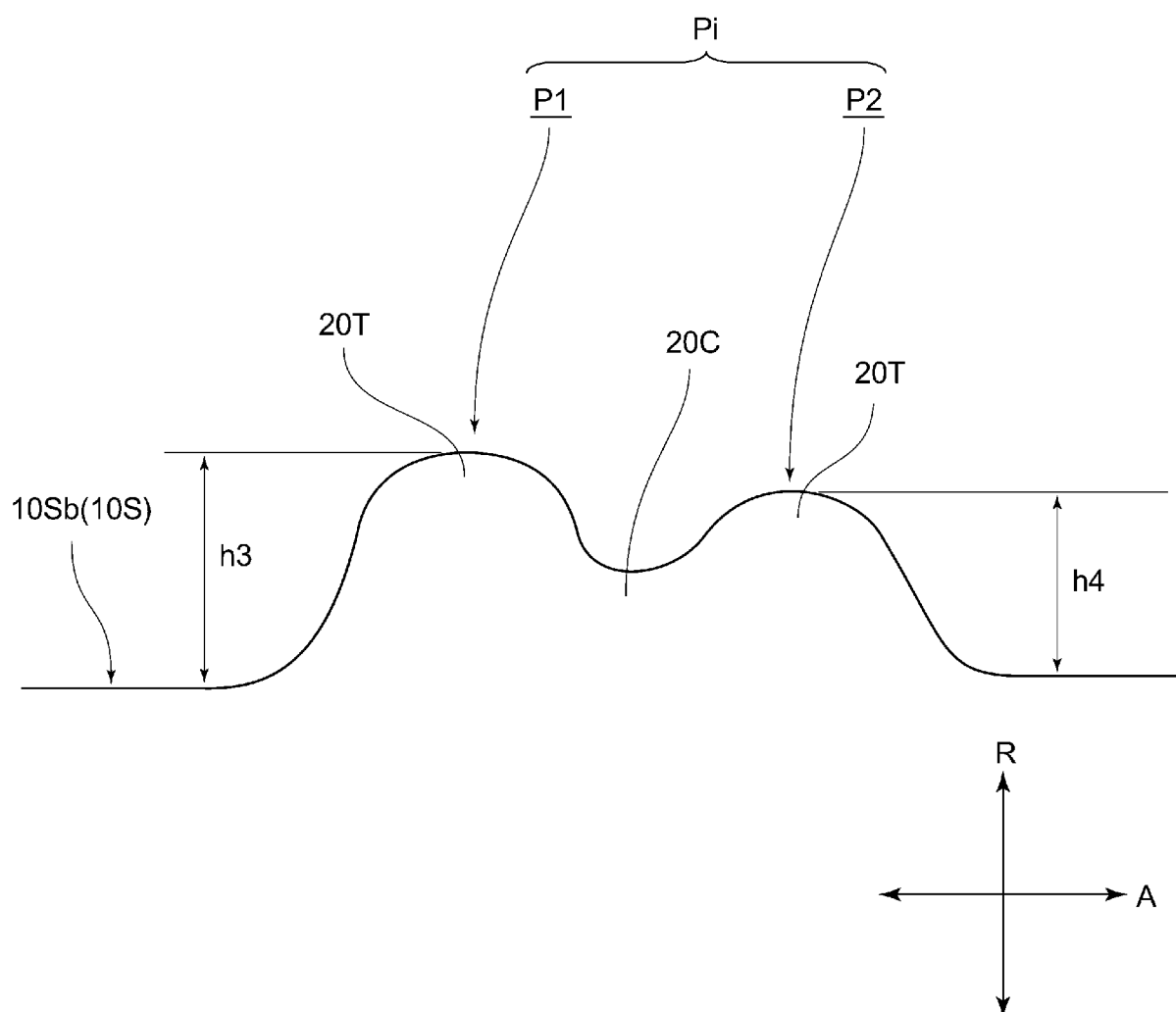


Fig.12

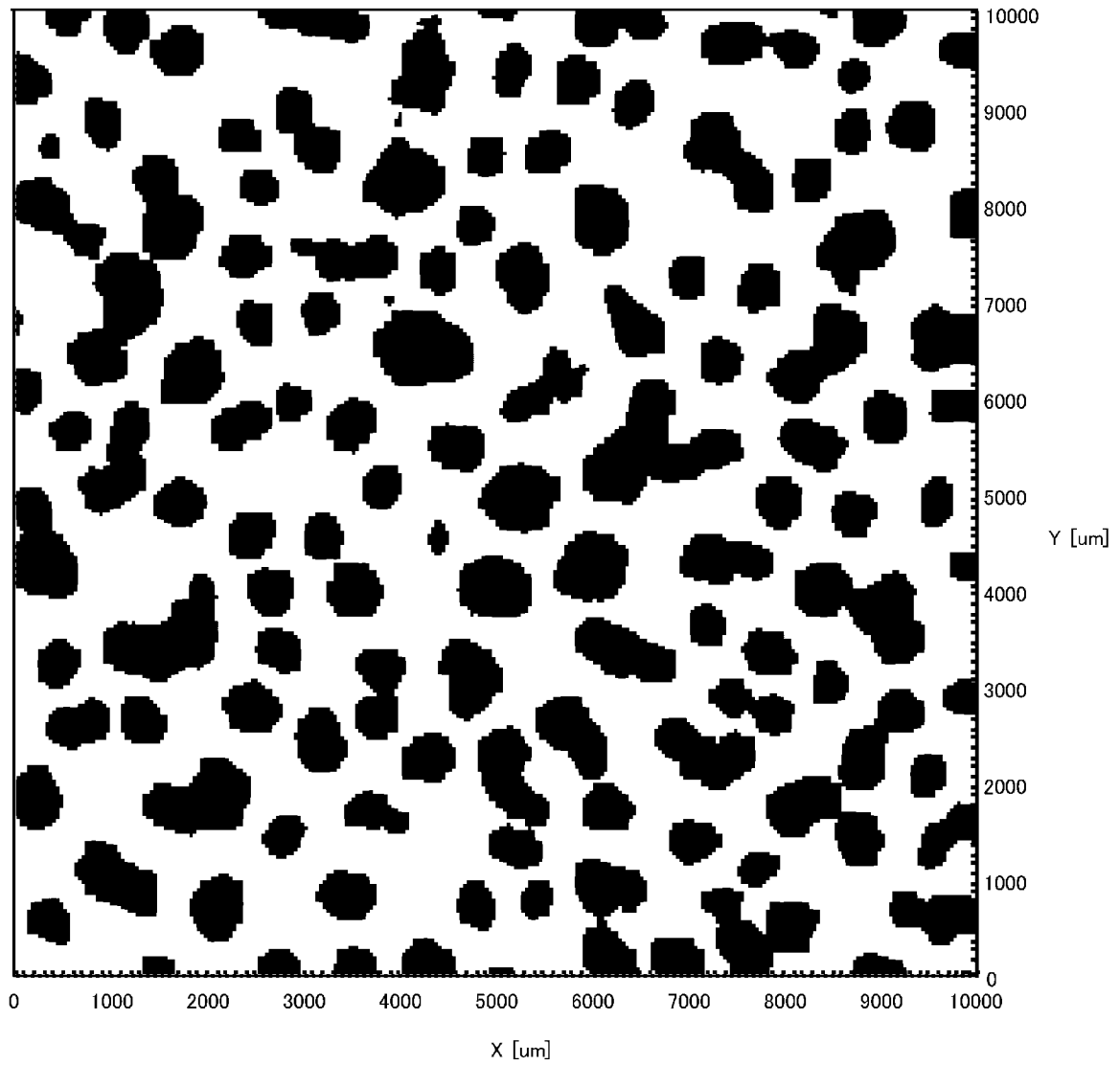
[図13]

Fig.13



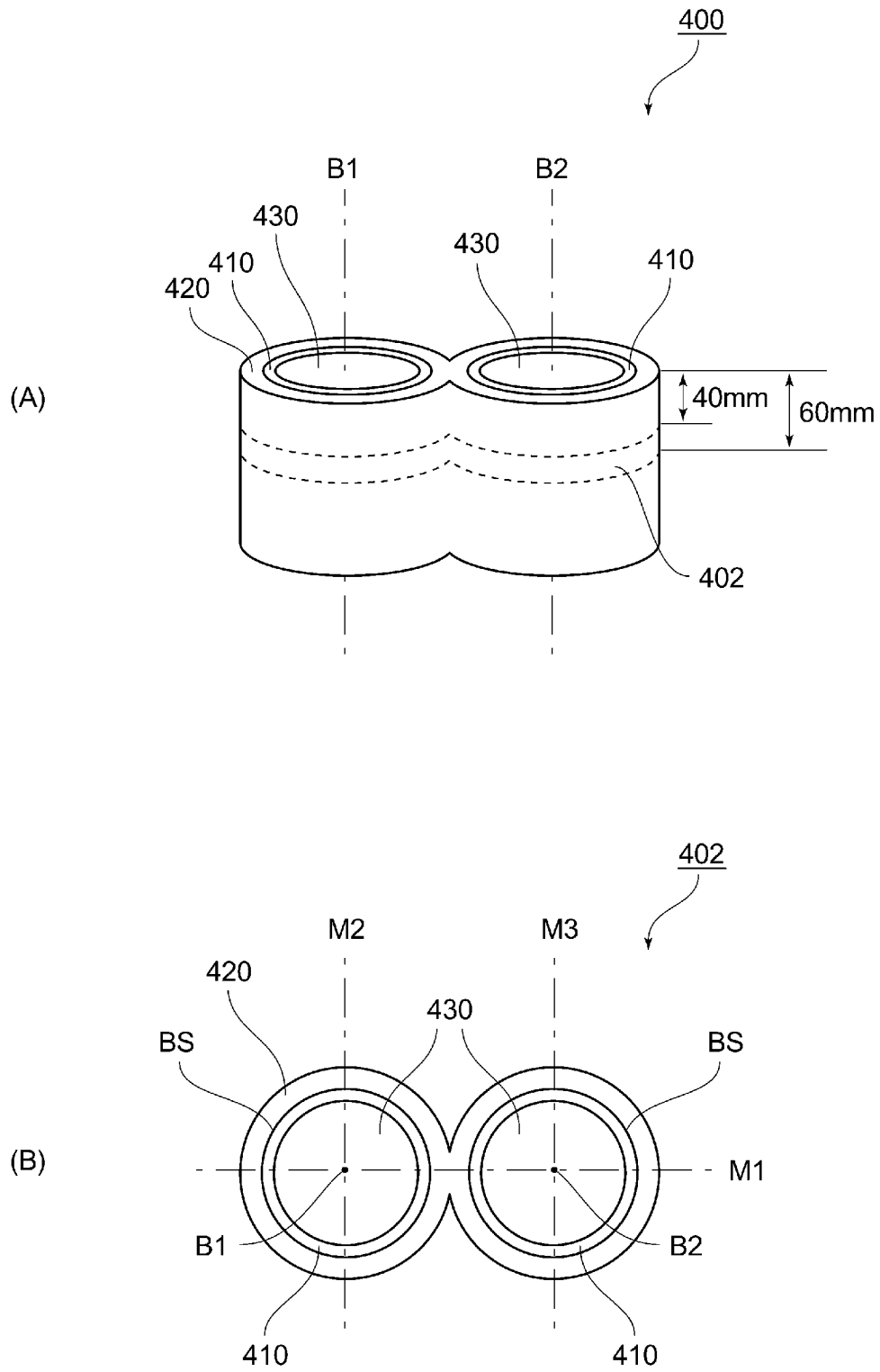
[図14]

Fig.14

150  $\mu\text{m}$  等高線図

[図15]

Fig.15



[図16]

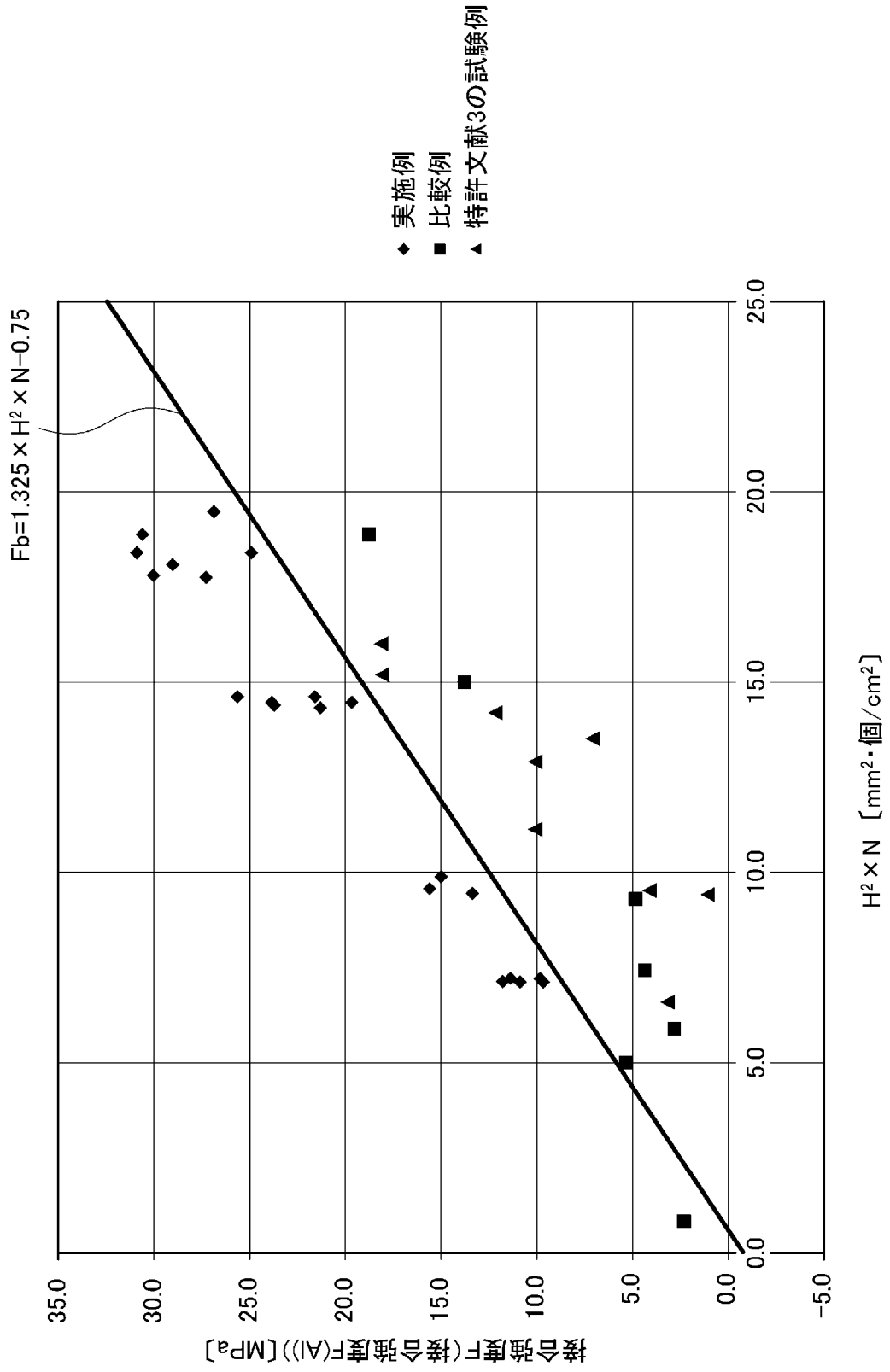


Fig.16

[図17]

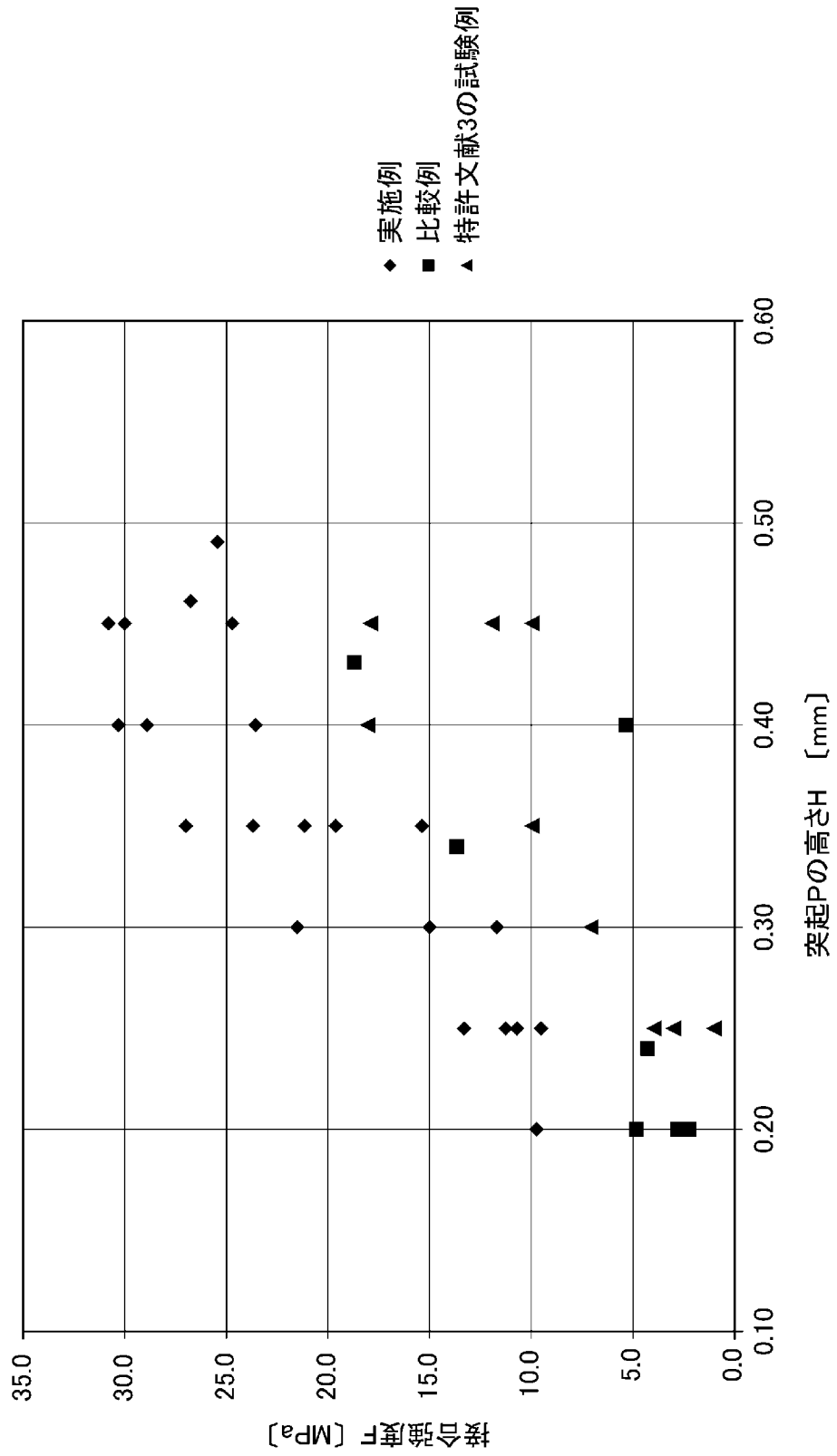


Fig.17

[圖18]

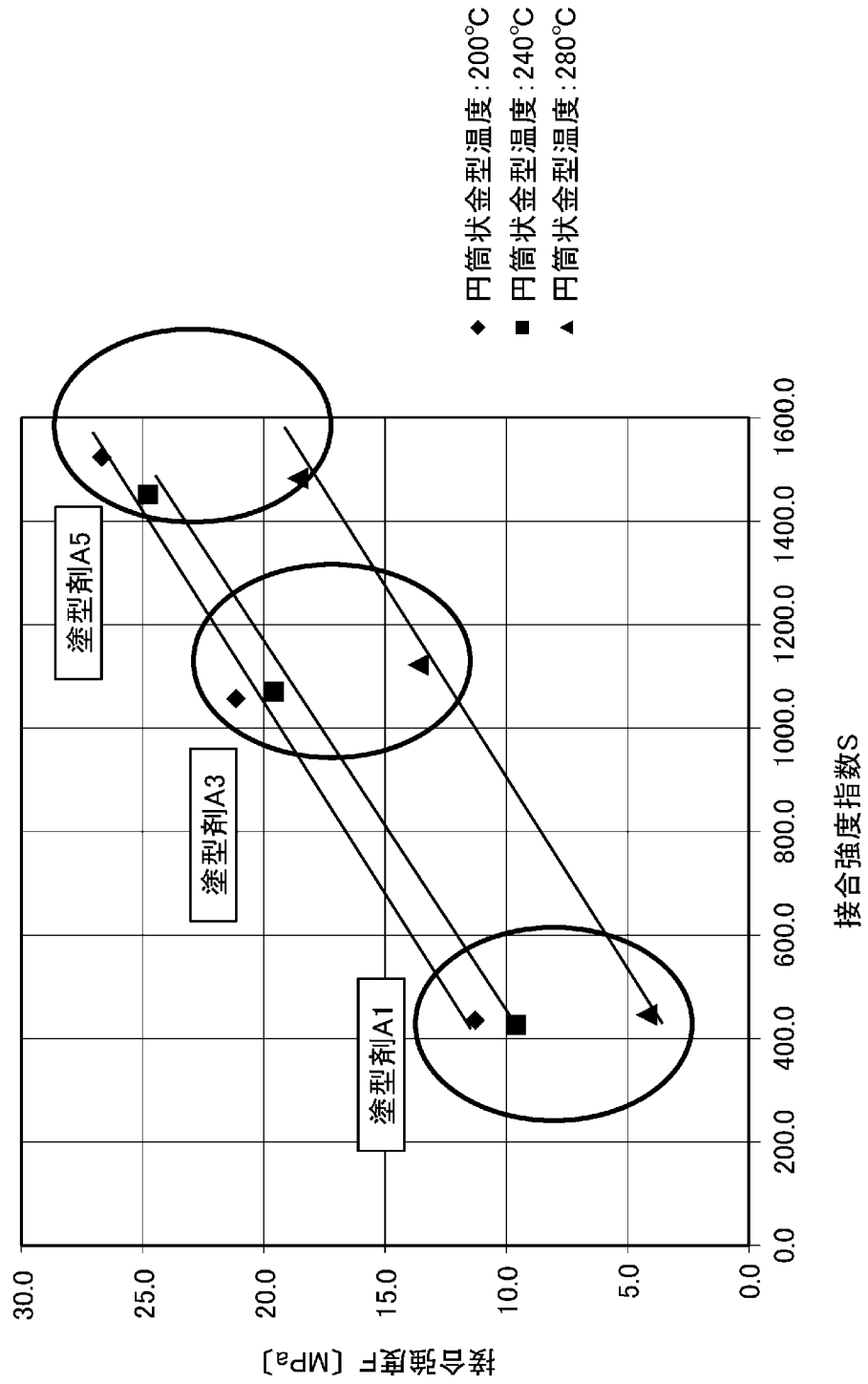


Fig.18

[図19]

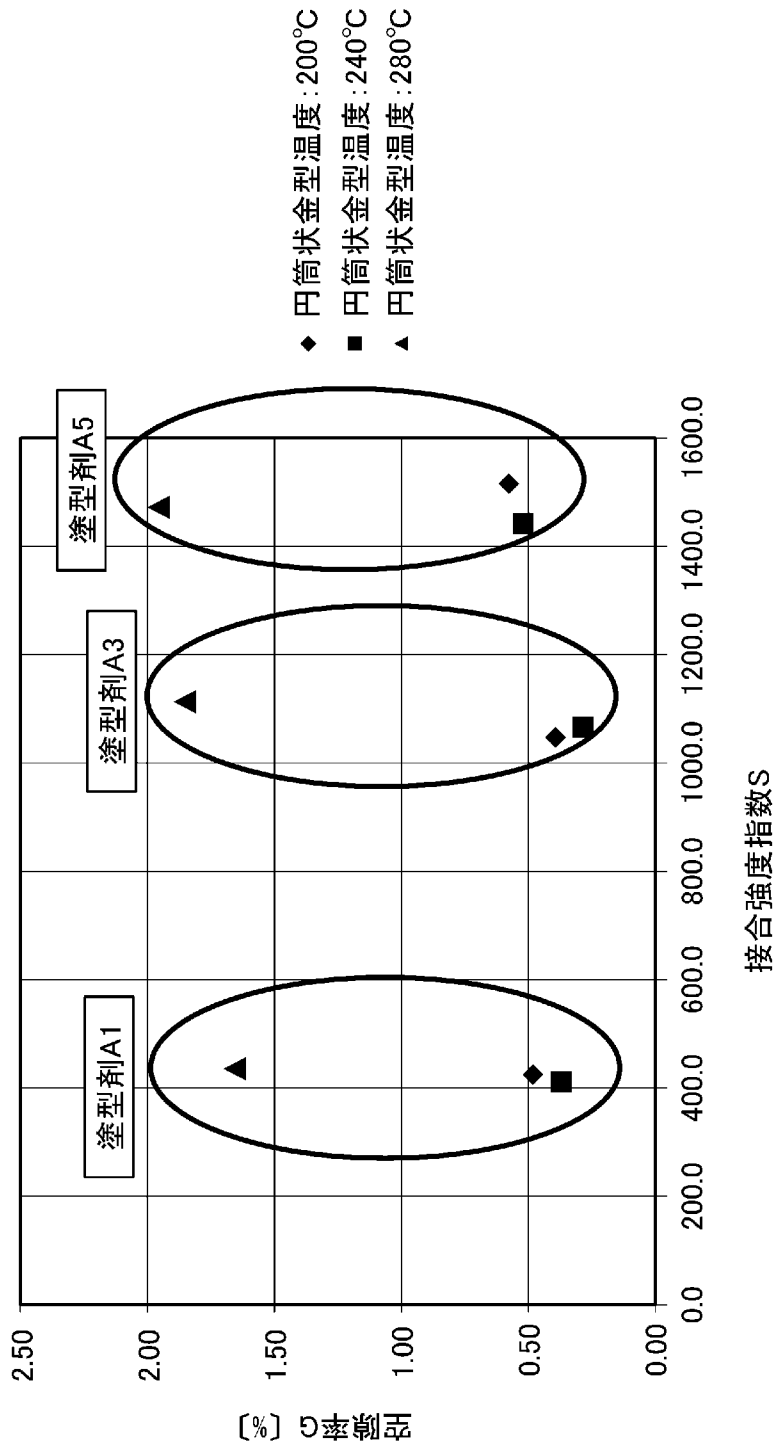
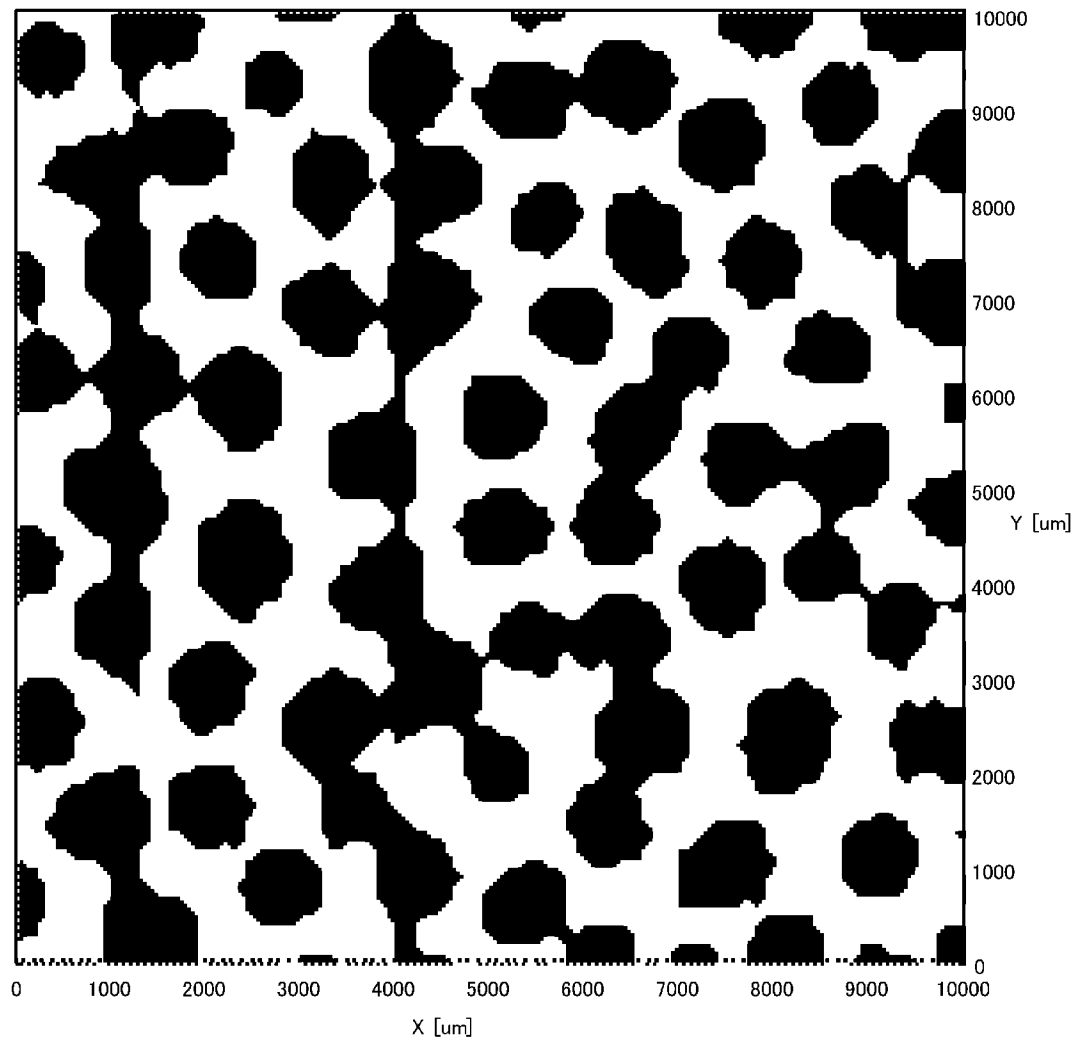


Fig.19

[図20]

Fig.20

150  $\mu\text{m}$  等高線図

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2017/041498

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. B22D19/00 (2006.01) i, B22D19/08 (2006.01) i, F02F1/00 (2006.01) i,  
F16D51/16 (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)

Int.Cl. B22D19/00-B22D19/16, F02F1/00, F16D51/16

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
A	JP 2009-264347 A (TEIKOKU PISTON RING CO., LTD.) 12 November 2009, paragraphs [0012]-[0033], fig. 1-7 & US 2009/0272261 A1, paragraphs [0026]- [0057], fig. 1-7 & EP 2113320 A1 & CN 101571079 A & KR 10-2009-0115052 A	1-12
A	JP 2005-194983 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 21 July 2005, entire text, fig. 1-16 & US 2007/0240652 A1, entire text, fig. 1-16 & EP 1711291 B1 & WO 2005/065867 A1 & CN 1905969 A	1-12

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

“I” 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  
11 January 2018 (11.01.2018)

Date of mailing of the international search report  
23 January 2018 (23 01.2018)

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/JP2017/041498

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 2003-326353 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 18 November 2003, entire text, fig. 1-7 & US 2005/0161187 A1, entire text, fig. 1-7 & WO 2003/095129 A1 & EP 1504833 A1 & DE 60305691 T2 & CN 1652888 A & KR 10-0650352 B1	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B22D19/00(2006.01)i, B22D19/08(2006.01)i, F02F1/00(2006.01)i, F16D51/16(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 (IPC)) Int.Cl. B22D19/00-B22D19/16, F02F1/00, F16D51/16		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2018年 日本国実用新案登録公報 1996-2018年 日本国登録実用新案公報 1994-2018年		
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用了用語)		
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
A	JP 2009-264347 A (帝国ピストンリング株式会社) 2009.11.12, [0012]-[0033], 図 1-7 & US 2009/0272261 A1, [0026]-[0057], FIG. 1-7 & EP 2113320 A1 & CN 101571079 A & KR 10-2009-0115052 A	1-12
A	JP 2005-194983 A (トヨタ自動車株式会社) 2005.07.21, 全文, 図 1-16 & US 2007/0240652 A1, 全文, Fig. 1-16 & EP 1711291 B1 & WO 2005/065867 A1 & CN 1905969 A	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 11.01.2018	国際調査報告の発送日 23.01.2018	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 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) 酒井 英夫 電話番号 03-3581-1101 内線 3425	4E 9631

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2003-326353 A (本田技研工業株式会社) 2003. 11. 18, 全文, 図 1-7 & US 2005/0161187 A1, 全文, FIG. 1-7 & WO 2003/095129 A1 & EP 1504833 A1 & DE 60305691 T2 & CN 1652888 A & KR 10-0650352 B1	1-12