

(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
2024年6月20日(20.06.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/128244 A1

- (51) 国際特許分類:
A61L 27/06 (2006.01) C22F 1/00 (2006.01)
B21C 1/00 (2006.01) C22F 1/18 (2006.01)
C22C 14/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/044585
- (22) 国際出願日: 2023年12月13日(13.12.2023)
- (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 2022-199634 2022年12月14日(14.12.2022) JP
- (71) 出願人: 株式会社丸エム製作所(MARUEMU WORKS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5420086 大阪府

大阪府中央区西心斎橋一丁目10番28号 Osaka (JP).

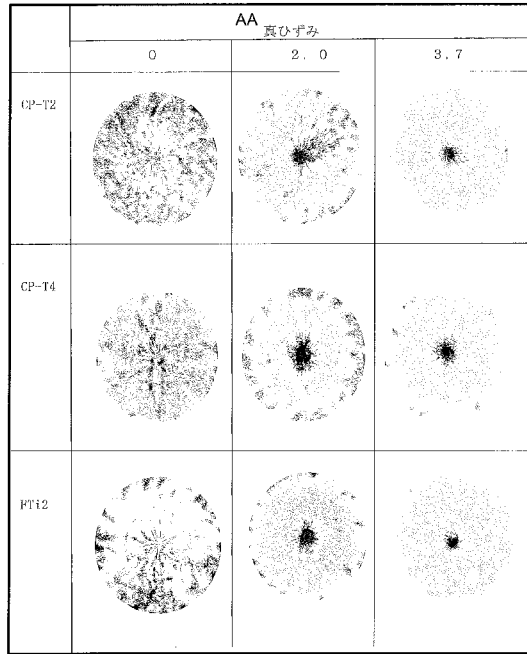
- (72) 発明者: 山中 茂 (YAMANAKA, Shigeru); 〒5740015 大阪府大東市野崎4丁目7番12号 株式会社丸エム製作所内 Osaka (JP). 篠原綾(SHINOHARA, Ryo); 〒5740015 大阪府大東市野崎4丁目7番12号 株式会社丸エム製作所内 Osaka (JP). 福田 憲治(FUKUDA, Kenji); 〒5740015 大阪府大東市野崎4丁目7番12号 株式会社丸エム製作所内 Osaka (JP).

- (74) 代理人: 紺野 昭男, 外 (KONNO, Akio et al.); 〒1000006 東京都千代田区有楽町1丁目7番1号 有楽町電気ビル北館19階 不二法律特許事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: BASE MATERIAL FOR SCREW, SCREW, AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: スクリュー用母材、スクリューとその製造方法

[図1]



AA True strain

(57) Abstract: The present invention provides a pure titanium screw or a base material for a pure titanium screw having sufficient strength comparable to that of titanium alloys. The present invention provides a substantially cylindrical pure titanium screw base material or screw, wherein the maximum value of the specific strength in the orientation of the (10-10) plane in the axial direction of the substantially cylindrical shape is 3 or more, and the hardness of a center part and the hardness of an outer peripheral part in a substantially circular cross section orthogonal to the axial direction are



WO 2024/128244 A1

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

approximately the same.

(57) 要約: 本発明は、合金チタンに匹敵する十分な強度を有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューを提供する。本発明は、略円筒形の純チタン製スクリュー用母材又はスクリューであって、前記略円筒形の軸方向の(1 0 - 1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一であるスクリュー用母材又はスクリューを提供する。

明 細 書

発明の名称： スクリュー用母材、スクリューとその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、スクリュー用母材又はスクリュー及びその製造方法、特に医療用スクリュー用母材又は医療用スクリュー及びその製造方法、より特に医療用アンカースクリュー用母材又は医療用アンカースクリュー及びその製造方法、さらに特に歯科矯正用アンカースクリュー母材又は歯科矯正用アンカースクリュー及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] チタン製医療用スクリューは、医療用インプラントにおいて重要となっている。これらのほとんどは、合金チタン（Ti64）で作られている。合金チタン（たとえば、Ti-6Al-4V）は、合金元素のため、特にバナジウムによるアレルギーの問題があった。

[0003] また、工業用製品においても、例えば半導体業界では、清浄度と耐食性が求められる特殊な酸・溶液を使用する基板の洗浄工程、また、真空または特殊なガスの環境にさらされる成膜工程においては、合金チタン、例えばTi-6Al-4Vでは、耐食性が純チタンより劣るだけでなく、添加元素であるアルミニウムやバナジウムの溶出が起こり、不純物混入の原因になるため、合金チタンは使用できず純チタンのスクリューを使用している。一方、純チタンは、強度が低いため、スクリューのサイズを大きくするか又はスクリューの本数を増やすなどして強度の不足を補っており、純チタン自身の強度向上が求められている。

[0004] そこで、純チタンの強度を向上する方法として、例えば、特許文献1、特許文献2にはインプラントとしてチタンまたはチタン合金に対してスエージング加工することにより機械的な特性が向上することが示されている。また、特許文献1には、適切な加工条件や加工度が示されている。ただし、特許文献1及び2は、金属の塑性加工に共通する一般的な加工強化の長所をしめ

したものであり、加工度は20～80%にすることが好ましく、80%より大きくすると脆くなること、加工するときに割れが発生することが示されている。

[0005] また、特許文献2では、スエージング加工の加工様式の特徴に関する内容が示されているが、定性的なものにとどまっており、信頼性の点から十分とは言えない。

特許文献3には、温間圧延、押出、型鍛造などの方法により、チタンに機械的な特性を向上させる技術が示されている。これは、チタンの結晶微細化強化法の一つである繰返しせん断変形加工法（ECAP）を用いて、周囲から加熱しながら温度を制御して素材を作り、その後、主な二次加工である圧延で効果を高めたものである。特に、微細化と結晶の等方性の改善に特徴がある。

[0006] また、特許文献4においても、多軸鍛造処理法（MDF）でチタンを微細化した後、これに圧延や線状加工を行うこと、またその時の加工温度を70℃以下とすることで強度アップが実現できることなどが示されている。

さらに、非特許文献1では、純チタン1種から4種について、それぞれ急冷などの熱処理による組織変化で微細化した材料を出発点にして、さらに一般の塑性加工で強化することが示されている。

[0007] また、特許文献5においては、静水圧押出という加工法を用いているが、非特許文献2に示すように、該静水圧押出では、加工中の鍛流線が材料の中心軸とは平行ではない部分（外周部）があり、材料の部分により特性が異なってしまう、均一な特性を得ることは難しかった。すなわち、中心軸付近は軸方向の伸び変形であるのに対し、金型より接線力を受ける表面付近はせん断変形が主体となるため、材料の部分により特性が異なる。これは、加工中に金型から大きな接線力を受ける引抜き加工の場合も同様である。また、静水圧押出の加工法では、同様の理由で、配向性の比強度の最大値が中心と外周部で変化するため、断面で平均化されると比強度の最大値は3を超えず、必要な特性を得ることはできなかった。

[0008] さらに、特許文献6は、次のような工程を設けることによりはじめて高強靱性糸状結晶純チタンを製造することを開示する。

(1) 1～2回の等径角度付き押し出しを用いて純チタンの結晶粒方位を調整し、チタン棒材を得る工程、

(2) 工程(1)で得られたチタン棒材に対して複数回の回転鍛造を行った後に切断し、横断面が矩形のチタン板材を得る工程、

(3) チタン板材に対してアニーリングー複数回の制御圧延を循環して行う工程、及び

(4) アニーリングする工程。

特許文献6は、高強靱性の純チタンを得ることができるものの、複雑な工程が必要であった。複雑な工程であるため、得られたチタン材の鍛流線も複雑な流れとなっていた。さらに、アニール(熱処理)により純チタン中に結晶が析出し、また成長するなど、工程が複雑で、同一材料全体において、又はロット間において、安定した特性をもった材料を得ることは難しかった。

[0009] また、表面にせん断変形を生じて、断面が減少していく加工方法では、断面の中心付近と外周近くでの硬さが異なり、材料の部分により均一な硬さを得ることは難しかった。均一な硬さのものを得るためには、複雑な加工方法が必要であった。例えば、引抜き加工の例として非特許文献3を挙げることができる(特に非特許文献3の94頁の記載を参照のこと)。

先行技術文献

非特許文献

[0010] 非特許文献1:平成26年度研究成果報告書(公益法人京都技術科学センター) 松本洋明 軽量純チタン材の新しい超微細粒組織形成と高機能化・実用塑性加工への新展開。

非特許文献2:加藤健三著、金属塑性加工学、丸善株式会社、1979年、208-212頁。

非特許文献3:Anton Pomp: "Steel Wire", Wire industry Ltd, (1954)。

特許文献

- [0011] 特許文献1：特開平7－124242。
特許文献2：特開平9－135852。
特許文献3：特許第5536789号。
特許文献4：特許第6737686号。
特許文献5：特表2016－505387。
特許文献6：特表2021－508764。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] 純チタンはアレルギーのリスクが最も少ない金属であるが、医療用スクリューに必要な引張強度とねじり破断強度が合金チタンと比較して不足していた。低侵襲が求められているので、サイズアップによる強度アップは好ましくなく、材料そのものに強度が必要となっている。
- [0013] 従来の技術は、機械的な特性を向上させるために、純チタンの加工硬化や微細強化特性を利用しようとしたが十分でなく、最近では、巨大ひずみ加工（UFG、bulk ultrafine grained）により微細強化した特殊素材を作った後、圧延加工などを行って医療用スクリュー用の円柱形状（バー材あるいは線材）を作っていた。そのため、工程が複雑で、また、巨大ひずみ加工材の形やボリュームに制約があり、実際の大量生産には不向きであり、低コストで生産性に優れた方法が求められていた。
- [0014] 一方、バー材あるいは線材として市販されている商用純チタン材（CPチタン、Commercial pure titanium）は、容易に入手可能であるが、その結晶粒は数十ミクロンと大きく強度が十分でなく、内部組織には多少ばらつきがあるので、これを用いても安定な生産と高い信頼性を実現する品質管理が必要となっていた。
- [0015] そこで、本発明の目的は、合金チタンに匹敵する十分な強度を有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリュー、特に医療用スクリュー用母材又は医療用スクリュー、より特に医療用アンカースクリュー用母材又は医療用アンカースクリュー、さらに特に歯科矯正用アンカースクリュー母

材又は歯科矯正用アンカースクリューを提供することにある。

[0016] また、本発明の目的は、上記目的の他に、又は上記目的に加えて、上記純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリュー等の製造方法を提供することにある。

具体的には、本発明の目的は、巨大ひずみ加工のような特殊工程を経ることなく、商用の純チタンバー材あるいは線材から製造することができ、生産上も安定にまた信頼性の高い管理方法で上記純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリュー等を製造することができる製造方法を提供することにある。

[0017] さらに、本発明の目的は、上記目的の他に、又は、上記目的に加えて、略円筒形の純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの軸方向と直交する略円形断面において、該略円形断面の中心部と外周部との硬さが略同一とすることにより、例えばセルフドリリングスクリューに必要なねじり破断トルク及び耐摩耗性、具体的には所望の硬さを有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューを提供すること、及び該純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することにある。

また、本発明の目的は、上記目的の他に、又は、上記目的に加えて、セルフドリリングに必要な耐摩耗性、具体的には硬さ、より具体的には表面硬さ及び／又は内部硬さを有し、且つねじりトルクに対する強度、具体的にはねじり破断強度を有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューを提供すること、及び該純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することにある。

さらに、本発明の目的は、上記目的の他に、又は、上記目的に加えて、同一材料全体において、又はロット間において、安定した特性を有する材料を得る、比較的工程の少ない、純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明者らは、以下の発明を見出した。

<1> 略円筒形の純チタン製スクリー用母材又はスクリーであって、前記略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15HV以内、より好ましくは12HV以内、最も好ましくは10HV以内であるスクリー用母材又はスクリー。なお、「(1 0 -1 0)面」の語については、後述を参照のこと。

[0019] <2> 上記<1>において、スクリー用母材又はスクリーは、その全重量を100wt%とした場合、酸素量が0.2~0.4wt%、好ましくは0.25~0.38wt%、より好ましくは0.28~0.37wt%、最も好ましくは0.29~0.36wt%であるのがよい。

<3> 上記<1>又は<2>において、純チタンの結晶子サイズが280Å以下、好ましくは270Å以下、より好ましくは260Å以下であるのがよい。

[0020] <4> 上記<1>~<3>のいずれかにおいて、以下の特性i)~iii)のうちの少なくとも1つの特性、2つの特性、又は3つの特性を有するのがよい：

特性i)：引張り強さが800MPa以上、好ましくは860MPa以上、より好ましくは920MPa以上；

特性ii)：表面硬さが200HV以上、好ましくは220HV以上、より好ましくは240HV以上；

特性iii)：絞りが45%以上、好ましくは50%以上、より好ましくは60%以上。

[0021] <5> 上記<1>~<4>のいずれかにおいて、純チタンが、純チタン2種、純チタン3種、純チタン4種、及び結晶粒を1μm以下に微細化された純チタンからなる群から選ばれるのがよい。

<6> 上記<1>~<5>のいずれかにおいて、純チタンが、純チタン4種であるのがよい。

[0022] <7> 上記<1>~<6>のいずれかにおいて、前記スクリー用母材又はスクリーがスクリー、特にセルフドリリングスクリーであり、該スクリーの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きく、好ましくは中心部の前記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.10~1.50倍、より好ましくは中心部の前記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.20~1.50倍、最も好ましくは中心部の前記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.30~1.50倍であるのがよい。

<8> 上記<1>~<7>のいずれかにおいて、前記スクリー用母材又はスクリーがスクリー、特にセルフドリリングスクリーであり、表面硬さ及び/又は内部硬さ（具体的には中心部の硬さ及び/又は外周部の硬さ）が250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270~340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290~320HVであるのがよい。

[0023] <9> 上記<1>~<8>のいずれかにおいて、スクリー用母材又はスクリーが医療用アンカースクリュー用母材または医療用アンカースクリューであるのがよい。

<10> 上記<1>~<9>のいずれかにおいて、スクリー用母材又はスクリーが歯科矯正用アンカースクリュー用母材または歯科矯正用アンカースクリューであるのがよい。

[0024] <11> (1) 略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

(11) 前記純チタン素材をスエージングする工程；
を有して、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上、好ましくは2.5以上、より好ましくは3.0以上である略円筒状のスクリー用母材であって前記略円筒形の軸方向の(1

0 - 1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15HV以内、より好ましくは12HV以内、最も好ましくは10HV以内であるスクリー用母材を得る工程を有する、スクリー用母材の製造方法。

[0025] <12> (I) 略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

(I1) 前記純チタン素材をスエージングする工程；のみからなり、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上、好ましくは2.5以上、より好ましくは3.0以上である略円筒状のスクリー用母材であって前記略円筒形の軸方向の(10 - 1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15HV以内、より好ましくは12HV以内、最も好ましくは10HV以内であるスクリー用母材を得る工程を有する、スクリー用母材の製造方法。

[0026] <13> (I11) 上記<11>又は<12>で得られた略円筒状のスクリー用母材にスクリー形状を付与する工程；

をさらに有することにより、スクリーを得る、スクリーの製造方法。

<14> 上記<13>において、前記(I11)工程は、略円筒状のスクリー用母材を切削することによりスクリー形状を付与するのがよい。

[0027] <15> 上記<11>~<14>のいずれかにおいて、(IV)スクリー用母材を250℃以下で圧造することによりネジ頭部を成形する工程を有するのがよい。

<16> 上記<11>~<15>のいずれかにおいて、前記純チタン素材は、その全重量を100wt%とした場合、酸素量が0.2~0.4wt

%、好ましくは0.25~0.38 wt%、より好ましくは0.28~0.37 wt%、最も好ましくは0.29~0.36 wt%であるのがよい。

[0028] <17> 上記<11>~<16>のいずれかにおいて、前記純チタン素材の結晶子サイズが280 Å以下、好ましくは270 Å以下、より好ましくは260 Å以下であるのがよい。

<18> 上記<11>~<17>のいずれかにおいて、前記略円筒状のスクリー用母材又は略円筒状のスクリーの純チタンの結晶子サイズが280 Å以下、好ましくは270 Å以下、より好ましくは260 Å以下であるのがよい。

[0029] <19> 上記<11>~<18>のいずれかにおいて、前記略円筒状のスクリー用母材又は略円筒状のスクリーが、以下の特性 i) ~ i i i) のうちの少なくとも1つの特性、2つの特性、又は3つの特性を有するのがよい：

特性 i) : 引張り強さが800 MPa以上、好ましくは860 MPa以上、より好ましくは920 MPa以上；

特性 i i) : 表面硬さが200 HV以上、好ましくは220 HV以上、より好ましくは240 HV以上；

特性 i i i) : 絞りが45%以上、好ましくは50%以上、より好ましくは60%以上。

<20> 上記<11>~<19>のいずれかにおいて、前記純チタン素材が、純チタン2種、純チタン3種、純チタン4種、及び結晶粒を1 μm以下に微細化された純チタンからなる群から選ばれるのがよい。

<21> 上記<11>~<20>のいずれかにおいて、前記純チタン素材が、純チタン4種であるのがよい。

[0030] <22> 上記<11>~<21>のいずれかにおいて、前記スクリー用母材又はスクリーがスクリー、特にセルフドリリングスクリーであり、該スクリーの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きく、好ましくは中心部の前

記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.10~1.50倍、より好ましくは中心部の前記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.20~1.50倍、最も好ましくは中心部の前記アスペクト比が外周部のアスペクト比の1.30~1.50倍であるのがよい。

<23> 上記<11>~<22>のいずれかにおいて、前記スクリー用母材又はスクリーがスクリー、特にセルフドリリングスクリーであり、前記表面硬さ及び/又は内部硬さ（具体的には中心部の硬さ及び/又は外周部の硬さ）が250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270~340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290~320HVであるのがよい。

[0031] <24> 上記<11>~<23>のいずれかにおいて、スクリー用母材又はスクリーが医療用アンカースクリー用母材または医療用アンカースクリーであるのがよい。

<25> 上記<11>~<24>のいずれかにおいて、スクリー用母材又はスクリーが歯科矯正用アンカースクリー用母材または歯科矯正用アンカースクリーであるのがよい。

発明の効果

[0032] 本発明により、合金チタンに匹敵する十分な強度を有する純チタン製スクリー用母材又は純チタン製スクリー、特に医療用スクリー用母材又は医療用スクリー、より特に医療用アンカースクリー用母材又は医療用アンカースクリー、さらに特に歯科矯正用アンカースクリー母材又は歯科矯正用アンカースクリーを提供することができる。

[0033] また、本発明により、上記効果の他に、又は上記効果に加えて、上記純チタン製スクリー用母材又は純チタン製スクリー等の製造方法を提供することができる。

具体的には、本発明により、巨大ひずみ加工のような特殊工程を経ることなく、商用の純チタンバー材あるいは線材から製造することができ、生産上も安定にまた信頼性の高い管理方法で上記純チタン製スクリー用母材又は

純チタン製スクリュー等を製造することができる製造方法を提供することができる。

[0034] さらに、本発明により、上記効果の他に、又は、上記効果に加えて、略円筒形の純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの軸方向と直交する略円形断面において、該略円形断面の中心部と外周部との硬さが略同一とすることにより、例えばセルフドリリングスクリューに必要なねじり破断トルク及び耐摩耗性、具体的には所望の硬さを有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューを提供すること、及び該純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することができる。

[0035] また、本発明により、上記効果の他に、又は上記効果に加えて、セルフドリリングに必要な耐摩耗性、具体的には硬さ、より具体的には表面硬さ及び／又は内部硬さを有し、且つねじりトルクに対する強度、具体的にはねじり破断強度を有する純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューを提供することができる。また、該純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することができる。

さらに、本発明により、上記効果の他に、又は、上記効果に加えて、同一材料全体において、又はロット間において、安定した特性を有する材料を得る、比較的工程の少ない、純チタン製スクリュー用母材又は純チタン製スクリューの製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]純チタン2種（CP-T2）、純チタン4種（CP-T4）及びFTi2の素材を真ひずみ0、2.0及び3.7で調製して得られた、実施例のロッド状加工済み母材の（100）面を解析ソフトDIFFRAC.TEXTURE MRDB V4.1(BRUKER社製)を用いて極点図として表した図である。

[図2]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を結晶子サイズ（Å）、縦軸を引張り強さ（MPa）、とした図である。

[図3]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を結晶子サイ

ズ (Å)、縦軸を表面硬さ (HV)、とした図である。

[図4]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を結晶子サイズ (Å)、縦軸を絞り (%)、とした図である。

[図5]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を真ひずみ ϵ 、縦軸を結晶子サイズ (Å)、とした図である。

[図6]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を真ひずみ ϵ 、縦軸を最大比強度 (配向性)、とした図である。

[図7]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を最大比強度 (配向性)、縦軸を引張り強さ (MPa)、とした図である。

[図8]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を最大比強度 (配向性)、縦軸を表面硬さ (HV)、とした図である。

[図9]実施例で得られたロッド状加工済み母材についての、横軸を最大比強度 (配向性)、縦軸を絞り (%)、とした図である。

[図10]素材 CP-T4 を用いて得られた母材についての、横軸を真ひずみ ϵ 、縦軸を絞り (%)、とした図である。

[図11]ロッド状加工済み母材の軸方向と直交する略円形断面における「内部硬さ」、すなわち中心部の硬さと外周部の硬さを測定した点を表す図である。

[図12]素材 CP-T4 を用いて真ひずみ 0 及び真ひずみ 2.65 として得られた母材に、頭部加工をした該頭部の写真である。

[図13]本発明のスクリューについて、測定した面とその箇所の概略図を示すと共に、得られたチタン結晶のアスペクト比の結果を示す図である。

[図14]素材として (i) CP-T4 を用いて得られたねじ (酸素量: 0.28 wt% 及び 0.34 wt%) ; 及び FTi2 を用いて得られたねじ (酸素量: 0.12 wt% 及び 0.14 wt%) について、横軸を酸素量、縦軸を中心部の硬さとしたグラフである。

[図15]素材として (i) CP-T4 を用いて得られたねじ (酸素量: 0.28 wt% 及び 0.34 wt%) ; 及び FTi2 を用いて得られたねじ (酸素

量：0.12wt%及び0.14wt%)について、横軸を酸素量、縦軸をねじり強度としたグラフである。

発明を実施するための形態

[0037] 以下、本願に記載する発明（以降、「本発明」と略記する場合がある）について説明する。

本願は、略円筒形の純チタン製スクリユー用母材、略円筒形の純チタン製スクリユー、該スクリユー用母材の製造方法、該スクリユーの製造方法を提供する。

以降、順に説明する。

<スクリユー用母材>

本願は、略円筒形の純チタン製スクリユー用母材であって、略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であるスクリユー用母材を提供する。また、配向性の比強度の最大値は、15以下、好ましくは12以下、より好ましくは10以下であるのがよい。

なお、本明細書における「(1 0 -1 0)」という語句は、実際には下記(X)で表されるのが通常である。しかしながら、本明細書においては、便宜上、「(1 0 -1 0)」という語句を用いることとする。

[0038] [数1]

(10 $\bar{1}$ 0)

(X)

[0039] 「略円筒形」とは、スクリユー用母材にあつては、円筒の形状が含まれるのは勿論であるが、該円筒形の軸方向に沿って側面が傾斜されている、いわゆる円錐台形も含まれる。

「純チタン製」とは、不純物を全く含まないものだけでなく、JIS規格による、純チタン1種、純チタン2種、純チタン3種、又は純チタン4種であってもよく、また、結晶粒を1 μ m以下に微細化された純チタンであってもよい。

なお、「純チタン」の材質は、純チタン2種、純チタン3種、純チタン4

種、及び結晶粒を1 μm 以下に微細化された純チタンからなる群から選ばれるのがよい。

[0040] <軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性>

本発明のスクリー用母材は、略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上である。また、該最大値が、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であるのがよい。また、配向性の比強度の最大値は、15以下、好ましくは12以下、より好ましくは10以下であるのがよい。

ここで、「軸方向」とは、略円筒形の長さ方向と同義である。

純チタンは、通常、等方性（あるいは、等軸晶）であるが、加工によって配向性を付与することができる。該配向性により等方性（あるいは、等軸晶）組織では得られない特性をスクリー用母材に与えることができる。断面が円形である略円筒形のスクリー母材を得るための原料素材の外周面に垂直に、該素材の中心に向かって加わる力によって、軸方向に特定の結晶面を優先的に配列させる。これにより、一般に軸方向の強度が上昇し、スクリー用母材及び該母材から形成されるスクリーの引張強さを向上させることができる。

[0041] これまで、純チタンの配向性は、結晶子とともに基本的な特性でありながら、定量的に扱うことはなく、機械的特性に關与する定性的な要因として扱われてきた。この配向性を定量的に評価するために、X線回折(XRD)を用いて、注目する方向に対する純チタンの特定の結晶面について、平均強度に対する強度の比の最大値をもって、定量的に扱うことを見出した。

[0042] すなわち、最密六方晶である純チタンにおいて特徴的な結晶面(1 0 -1 0)に関して、略円筒形の材料の横断面に垂直な方向(軸方向)の極点図を作り、そのなかの最大比強度を求めることを考えた。これが、「略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値」である。

[0043] 極点図は、材料のある断面について、材料の特定の結晶面がどのように分

布しているかを示すもので、一般にその強度が輪郭図あるいは濃淡で示される。最も濃い部分の強度の、平均に対する比をもって、最大の比強度とする。比強度が大きいほど配向性（異方性ともいう）が大きく、1に近いほど配向性がなく等方的あるいはランダムな分布であることを示す。

[0044] 比強度の最大値は、上述したように、X線回折（XRD）を用いることにより得ることができる。具体的な求め方として、X線回折装置としてBRUKER社製D8 ADVANCEを使用し、管球にはコバルトを用い、その出力を電圧35 kV、電流を40 mAとした。発散スリット径：0.3 mm、コリメータ径：0.3 mmとして2次元検出器を用いる。

[0045] 極点図の作成において、試料の面内方向角度 ϕ は一周360度を5度刻みに72ステップ測定し、傾き角 ψ のレンジは始点を15度、終点を45度として測定して求めた。得られた測定データは解析ソフトDIFFRAC.TEXTURE MRDB V4.1(BRUKER社製)を用いて解析を行い、純チタンの配向性において特徴的な挙動を示す(1 0 -1 0)の極点図をそれぞれ作成する。これにより、この結晶面がどの方向に多く向いているかが、色の濃さでわかるように設定されている。極点図全体の平均強度を1と規定した相対強度の最大値を最大比強度とする。材料が等方的である場合（配向性がない場合）は色の濃淡が少なく、配向性が現れると、ある角度で濃い部分が生じ、その角度の相対強度は高くなる。なお、この強度が最大値となる角度は、等高線図（コンター図）を用いても、見出すことができる。

[0046] 本発明において、上述したとおり、「略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値」が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であるのがよい。

[0047] 本発明のスクリユー用母材又はスクリユーにおいて、軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15 HV以内、より好ましくは12 HV以内、最も好ましくは10 HV以内であるのがよい。

この特性を有することにより、所望のねじり破断トルクと硬さ、所望の耐

摩耗性を有することができ、スクリュー、特にセルフドリリングスクリューとして利用することが可能となる。

なお、本明細書において、スクリュー用母材又はスクリューの軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さを合わせて、「内部硬さ」又は「内部の硬さ」という場合がある。

一方、スクリュー用母材又はスクリューの表面又は外部の硬さを、「表面硬さ」又は「外部硬さ」という場合がある。

[0048] 本明細書において、「硬さ」は、「内部硬さ」についても「表面硬さ」又は「外部硬さ」についてもビッカース硬さをいう。

ビッカース硬さは、従来行われている方法により、例えば J I S Z 2 2 4 4 に準拠して、ビッカース式硬さ試験機により測定することができる。

例えば、「内部硬さ」のうち、スクリュー用母材又はスクリューの軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さは、該中心部を研磨することにより測定することができる。

また、「内部硬さ」のうち、スクリュー用母材又はスクリューの軸方向と直交する略円形断面における外周部の硬さは、表面側から中心部に向けて半径の $1/4$ の距離の位置の硬さを測定することとする。

[0049] 「表面硬さ」又は「外部硬さ」は、表面又は外部に現れている面の硬さを、上述の測定と同様に測定することにより求めることができる。なお、表面が曲面の場合、該曲面を少し削って平面にして、該平面に圧子を押し込みビッカース硬さを測定するのがよい。

「表面硬さ」又は「外部硬さ」は、200HV以上、好ましくは220HV以上、より好ましくは240HV以上であるのがよい。なお、本発明のスクリューをセルフドリリングスクリューとして用いる場合、「表面硬さ」又は「外部硬さ」、及び／又は「内部硬さ」（具体的には中心部の硬さ及び／又は外周部の硬さ）が250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270～340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290～320HVであるのがよい。

なお、セルフドリリングスクリューとは、ドリルの先端でスクリューを埋め込む対象物に穴をあけながら、後続のねじにより、めねじを成形することで固定されるスクリューをいう。また、セルフドリリングスクリューと対照的に、セルフタッピングスクリューとは、あらかじめ、めねじ成形を考慮した下穴をスクリューを埋め込む対象物にあけ、ここにスクリューをねじ込むことで固定されるスクリューをいう。

[0050] 本発明のスクリュー用母材又はスクリューは、その全重量を100wt%とした場合、酸素量が0.2~0.4wt%、好ましくは0.25~0.38wt%、より好ましくは0.28~0.37wt%、最も好ましくは0.29~0.36wt%であるのがよい。

酸素量を上記範囲とすること、及び上記特性を有することにより、所望の耐摩耗性、具体的には所望の硬さ、より具体的には所望の「表面硬さ」又は「外部硬さ」、及び／又は「内部硬さ」を有し、且つ所望のねじリトルクに対する強度、具体的には所望のねじり破断強度を有することができ、セルフドリリングスクリューとして利用することがより可能となる。

[0051] 本発明のスクリュー用母材又はスクリューにおける酸素量は、例えばJIS H1620-1995（チタン及びチタン合金中の酸素定量方法）に準拠して、不活性ガス融解-赤外線吸収法により測定することができる。

[0052] <機械特性>

スクリュー、特に医療用スクリューには、高強度と高じん性が要求される。該特性は、スクリュー用母材においても同様に要求される。

強度に関して、スクリュー軸方向、即ちスクリュー用母材の軸方向の引張強さが重要である。

引張り強さは、800MPa以上、好ましくは860MPa以上、より好ましくは920MPa以上であるのがよい。

合金チタン（例えば、Ti-6%Al-4%V）と同等近くにするためには820MPa以上であることが好ましい。用途によっては、950MPaであることがさらに好ましい。

引張り強さは、アムスラー式万能試験機により測定することができる。

[0053] また、スクリュー、特に医療用スクリューをねじ込む際にねじりせん断強度が必要である。該ねじりせん断強度は、材料の硬さと概ね比例する。

したがって、ビッカース硬さ（表面硬さ又は外部硬さ）が200HV以上、好ましくは220HV以上、より好ましくは240HV以上であるのがよい。

硬さは、ビッカース式硬さ試験機により測定することができる。

なお、セルフドリリングスクリューとして用いる場合、ビッカース式硬さ試験機により測定した表面硬さ又は外部硬さ及び／又は内部硬さ（具体的には中心部の硬さ及び／又は外周部の硬さ）が、250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270～340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290～320HVであるのがよい。

[0054] さらに、スクリューとしては高じん性（脆くない性質）が必要であり、一般には破断時に十分なくびれがあること、すなわち絞りがあることが要求される。特に、高い絞り値は、アンカースクリューに要求される曲げ強度（曲げ破断の生じにくさ）に対して有効である。

したがって、絞りが45%以上、好ましくは50%以上、後続の加工性、たとえば圧造性を考慮すると、60%以上であるのがより好ましい。

なお、本明細書において「絞り」とは、略円筒形の軸方向（長さ方向）の塑性加工性を意味する。

絞りは、引張り破断を起こした時のくびれの評価値により測定することができ、具体的にはアムスラー型万能試験機により試験および測定することができる。

[0055] <結晶子サイズ>

スクリュー、特に医療用スクリューに適した構造を作り、また実際の製品の信頼性を得るためには、評価の方法が重要となるが、純チタンにおけるこの現象は、再結晶、ひずみの蓄積、双晶など非常に複雑に絡み合う現象である。そのため、結晶粒そのものが複雑になるため、従来の評価法、例えば、

光学顕微鏡での測定や評価では困難であり、また、透過型電子顕微鏡による結晶粒径の判定でも、隣接する結晶同士の間角（傾角）を設定するなど複雑な手続きが必要となる。また、この方法では容易に生産の際の工程の検査・評価方法としてふさわしくない。

[0056] そこで、複雑な結晶粒の中で本来の結晶単位として存在する結晶子サイズを用いることで、上記の複雑な構造に有効な指標を与え、これを適切に用いることで、目的とするスクリュー、特に医療用スクリューが、所望の機械特性を有することを見出した。

[0057] 結晶子とは、結晶粒径とは異なり、X線回折に寄与する最小単位であり、結晶粒の中で単結晶としてみなせる部分のことである。

結晶子サイズは、見かけの結晶の大きさから判断される結晶粒径とは異なり、それより小さい値（あるいは単位）となる。また、純粋な単結晶においては結晶粒径と結晶子のサイズはほぼ同じものとみなせるが、加工が加わり、結晶が様々な条件でその規則性を失うと、それらは必ずしも結晶粒径と関係があるものではなくなる。

加工の有無及び加工の度合いに関わらず、純チタンが所望の特性、特に機械特性を有することの指標として、結晶子サイズを用いることとした。

[0058] 結晶子サイズは、X線解析装置（XRD）により同定が可能であり、生産上の工程検査として使用することもできる。

具体的には、結晶子サイズは、次のように測定することができる。

BRUKER社製X線回折装置（D8 ADVANCE）を用い、X線はコバルトの $K\alpha$ 線を使用する。コバルト管球の出力は35 kVで電流は40 mAとする。

本明細書において、結晶子サイズは、純チタンの結晶面（1 0 - 1 0）の回折X線を測定することにより求める。

X線の走査範囲は、 $2\theta = 35.0^\circ \sim 48.0^\circ$ 、発散スリット径は0.3 mm、コリメータ径は0.3 mmとする。測定データの解析は、同社の解析ソフトDIFFRAC.EVAを用いる。

結晶子サイズを $L_{v,1}$ [Å]、測定波長 λ [Å]、装置の影響を除いたピーク

の積分幅 β [rad]、ピークの角度位置 θ [rad] とし、結晶子サイズ $L_{v,01}$ は、式 1 で表される Scherrer の式から求めることができる。

[0059] [数2]

$$L_{v,01} = \lambda / \beta \cos \theta \quad (\text{式 1})$$

[0060] なお、結晶子サイズの詳細については、早稻田、松原、篠田 (2008) 演習 X 線構造解析の基礎 (内田老鶴圃) 103-108 頁 (これらの全ては参照により本明細書に含まれる) を参照することができる。

[0061] 本発明において、結晶子サイズが 280 Å 以下、好ましくは 270 Å 以下、より好ましくは 260 Å 以下であるのがよい。

[0062] <スクリュー>

本発明のスクリューは、上述のスクリュー用母材から形成されるのがよい。したがって、本発明のスクリューは、上述のスクリュー用母材と同じ特性を有するのがよい。

すなわち、本発明のスクリューは、略円筒形の純チタン製スクリューであって、略円筒形の軸方向の (1 0 -1 0) 面の配向性の比強度の最大値が 3 以上、好ましくは 4 以上、より好ましくは 5 以上であるのがよい。

また、純チタンの結晶子サイズが 280 Å 以下、好ましくは 270 Å 以下、より好ましくは 260 Å 以下であるのがよい。

[0063] さらに、以下の機械特性 i) ~ iii) のうち、少なくとも 1 つの特性、2 つの特性、又は 3 つの特性を有するのがよい。

特性 i) : 引張り強さが 800 MPa 以上、好ましくは 860 MPa 以上、より好ましくは 920 MPa 以上 ;

特性 ii) : 表面硬さ (又は外部硬さ) が 200 HV 以上、好ましくは 220 HV 以上、より好ましくは 240 HV 以上 ;

特性 iii) : 絞りが 45% 以上、好ましくは 50% 以上、より好ましくは 60% 以上。

[0064] また、本発明のスクリューは、純チタン製であり、具体的には、純チタンが、純チタン 2 種、純チタン 3 種、純チタン 4 種、及び結晶粒を 1 μm 以下

に微細化された純チタンからなる群から選ばれるのがよく、好ましくは純チタン4種であるのがよい。

[0065] さらに、本発明のスクリューは、A) 上記配向性の比強度の所望の最大値とB) 所望の結晶子サイズとの組合せを有するのがよい。もしくは、本発明のスクリューは、B) 所望の結晶子サイズとC) 機械特性 i) ~ i i i) のうち、少なくとも1つの特性、2つの特性、又は3つの特性との組合せを有するのがよい。もしくは、本発明のスクリューは、A) 上記配向性の比強度の所望の最大値と、B) 所望の結晶子サイズと、C) 機械特性 i) ~ i i i) のうち、少なくとも1つの特性、2つの特性、又は3つの特性との組合せを有するのがよい。

[0066] 本発明のスクリュー用母材は、医療用スクリュー用母材、特に医療用アンカースクリュー用母材であるのがよい。医療用アンカースクリュー用母材は、歯科矯正用アンカースクリュー用母材であるのがよい。

また、本発明のスクリューは、医療用スクリュー、特に医療用アンカースクリューであるのがよい。医療用アンカースクリューは、歯科矯正用アンカースクリューであるのがよい。

[0067] 本発明のスクリューは、該スクリューの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きいのがよい。好ましくは中心部のアスペクト比が外周部のアスペクト比の1.10~1.50倍、より好ましくは1.20~1.50倍、最も好ましくは1.30~1.50倍であるのがよい。

このような構成を有するスクリューは、傾斜機能材料 (Functionally Graded Materials、通称FGM's) の効果を奏することができる。

[0068] 本明細書において、チタン結晶のアスペクト比は、EBSD (電子線後方散乱回折: Electron Back-Scattered Diffraction Pattern) パターンを測定し、チタン結晶を楕円近似し、その長軸/短軸をアスペクト比とすることにより求めることができる。

具体的には、日立ハイテク製FESEM (電界放出型走査型電子顕微鏡: F

ield Emission Scanning Electron Microscope、型式：SU5000) 付属のEDAX社製結晶方位解析用検出器(型式：EDS/EBSDインテグレーションシステムPegasus)を用いてEBSDパターンを測定し、EDAX社製結晶方位解析ソフトウェア(型式：OIM Analysis v8)を用いて解析することができる。

より詳細には、SEM画像は加速電圧15kV、エミッション電流70 μ Aで観察し、EBSDパターンは10 μ m \times 10 μ mの領域をステップ幅0.1 μ mで測定し、バックグラウンド除去後に解析する。各測定ピクセル間の結晶方位に5 $^{\circ}$ 以上の差がある場合に結晶粒界とし、少なくとも5つ以上連続したピクセルが存在する領域が結晶粒として認識されるように解析パラメータを設定する。同定した結晶粒を楕円近似し、その長軸/短軸をアスペクト比とする。

[0069] 本発明のスクリューは、セルフドリリングスクリューであり、表面硬さ又は外部硬さ、及び/又は内部硬さ(具体的には中心部の硬さ及び/又は外周部の硬さ)が、250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270~340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290~320HVであるのがよい。

[0070] <スクリュー用母材の製造方法>

上記スクリュー用母材は、次の製造方法により製造することができる。

すなわち、

(I a) 純チタン素材を準備する工程；及び

(II a) 前記純チタン素材をスエージングする工程；

を有することにより、上記スクリュー用母材を得ることができる。

特に、

(I a) 純チタン素材を準備する工程；及び

(II a) 前記純チタン素材をスエージングする工程；

のみからなることにより、上記スクリュー用母材を得ることができる。

[0071] ここで、純チタンの加工方法として、「スエージング」を採用するが、該採用の理由は以下によるものである。

すなわち、金属材料は、材料を変形（塑性変形）させることで、変形により導入されたひずみエネルギーの約90%を熱に変化させ（加工熱）、自身の温度を上昇させる。一般的には、加工様式にもよるが100℃程度と考えられ、加工中に発生する熱だけを利用して加工することはなく、逆に、熱の短所を抑制するために金型を冷却して加工していた。

[0072] チタンは伝導率が小さく、材料全体への熱の拡散が抑えられ、熱が材料の塑性変形する部分にとどまるのでより温度が上昇する。加工条件が同じであれば、チタンの熱伝導率はスチールの2分の1以下であるため、加工部分の温度も2倍程度、すなわち約200℃程度上昇すると考えられる。

[0073] また、加工速度（あるいはひずみ速度）を大きくすることで、ある速度以上では高速加工領域に入り、上記の加工熱とは異なる機構で、局所的に大きな熱を発生させることができる。例えばスエージングでは、外周ローラーの高速回転を利用できるため、概ね50メートル/秒の表面の衝突加工速度を実現することも可能である。その時のひずみ速度はおよそ10~100/sとなりほぼ高速加工の領域に入る。

[0074] 金型と材料であるチタンとの間の接触時間が瞬間的であれば、金型への熱の流れがほとんどなくなり、熱が材料内にこもることになる。スエージングは、こうした特性を有しているので加工熱で自身の温度を上げるには好ましい加工方法である。

[0075] こうして、チタンの低い熱伝導率と高速加工を合わせて行うことで、周囲から加熱を行うことなく、300℃以上の温度に材料を昇温させることが可能となる。具体的には、高速加工のための回転速度と、加工材の挿入速度、ダイスとの接触時間、潤滑油の塗布量、一回当たりの加工度（単工程の加工度）、トータル加工度（単工程の加工度の総和）を適切に設定することにより、材料の内部の温度を300~400℃を保ちながら、ひずみ速度を制御することができる。これにより、加工ひずみの導入と再結晶の生成の適切なバランス状態（平衡状態）を作ることができる。

[0076] このように材料自身の加工熱を利用することで、結晶の状態とその配向性

を制御することが可能となり、素材の強度とじん性をコントロールすることができ、スクリューにとって適切な構造を形成させ、上述の特性を備えることができる。

[0077] この方法によれば、中間焼鈍（材料に延性を与えるための軟化熱処理）を行うことなく加工を継続することが可能であり、数回から数十回の単工程を繰り返して材料径を減少させつつ、最終の材料径まで加工することができる。このように、加工中に生じる再結晶により自発的に延性が改善されるので、従来の事例を超えてトータル加工度（単工程の総和）を80～95%以上に大きくとることが可能となる。

[0078] トータルの加工度をきわめて大きくとることが可能になるので、もはや加工前の素材の組織の状態のばらつきを吸収することができる。

こうした方法を用いると、材料として微細化された素材、例えば、繰り返しせん断変形加工法（E C A P）や多軸鍛造法（M D F）で作られた素材を加工前素材として使用することなく、通常の商用の純チタン1～4種のバー材あるいは線材を用いても、医療用スクリューに十分な特性を付与することができる。

[0079] 具体的には、本発明は、次の製造方法を提供する。

すなわち、本発明のスクリュー用母材の製造方法は、

（1）略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

（11）前記純チタン素材をスエージングする工程；

を有して、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上、好ましくは2.5以上、より好ましくは3.0以上である略円筒状のスクリュー用母材であって前記略円筒形の軸方向の（10-10）面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15HV以内、より好ましくは12HV以内、最も好ましくは1

0HV以内であるスクリー用母材を得る工程を有する。

[0080] 特に、本発明のスクリー用母材の製造方法は、

(1) 略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

(11) 前記純チタン素材をスエージングする工程；

のみからなり、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上、好ましくは2.5以上、より好ましくは3.0以上である略円筒状のスクリー用母材であって前記略円筒形の軸方向の(10-10)面の配向性の比強度の最大値が3以上、好ましくは4以上、より好ましくは5以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一、好ましくは中心部の硬さと外周部の硬さとの差が15HV以内、より好ましくは12HV以内、最も好ましくは10HV以内であるスクリー用母材を得る工程を有する。

[0081] ここで、「真ひずみ」とは加工度を示す指標であり、加工前の断面積A0と加工後の断面積A1とから、真ひずみ ε を次の式2で表すことができる。

[0082] [数3]

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) \quad (\text{式2})$$

[0083] ここで、「加工度」とは文字通り加工度を示す指標であり、加工前の断面積A0と加工後の断面積A1とから、加工度eを次の式3で表すことができる。

[0084] [数4]

$$e = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (\text{式3})$$

[0085] 例えば、加工度eが80%は、真ひずみ ε では1.61であり、加工度eが90%は真ひずみ ε では2.3であり、加工度eが95%は真ひずみ ε では3.0である。

本発明において、真ひずみ ε は2以上（加工度86%以上）、好ましくは2.5以上（加工度92%以上）、より好ましくは3以上（加工度95%以

上)であるのがよい。

本発明の方法により得られたスクリー用母材は、上記と同じ定義、同じ特性を有する。

[0086] スエージングは、上述の真ひずみ ε 、及び／又は、上述の加工度 e を達成できるのであれば、その条件は特に限定されない。

例えば、スエージングの条件として、加工中の加工材の表面温度を 250℃以上になるように諸条件を設定することがあげられるが、それに限定されない。

[0087] 本発明の製造方法は、微細加工がスエージングのみから本質的になるか、又はスエージングのみからなるため、得られたスクリー母材及び該母材を基に製造されるスクリーの鍛流線は、加工中および加工後共に材料の中心軸と略平行となる。したがって、得られた母材又はスクリーのどの部分であっても、例えば長手方向であっても、例えば中心部と外周部であっても同じ特性を有することができる。また、ロット間のばらつきも小さくなる。さらに、本発明の方法により、純チタンの結晶子サイズ、結晶方位（配向性）を制御することができ、上述の結晶子サイズ、配向性を備えることができる。

[0088] また、本発明は、スクリーの製造方法を提供する。

すなわち、(111) 上述のスクリー用母材の製造方法により得られたスクリー用母材、又は上述の特性を有するスクリー用母材にスクリー形状を付与する工程；

をさらに有することにより、スクリーを得る、スクリーの製造方法を提供する。

上記製造方法において、真ひずみ、加工度、用いる純チタン素材の酸素量、得られるスクリー用母材又はスクリーにおける酸素量、得られるスクリー用母材又はスクリーにおける純チタンの結晶子サイズ、は、上記と同じ定義を有する。

[0089] ここで、(111) 工程は、略円筒状のスクリー用母材を切削すること

によりスクリュー形状を付与するのがよい。

切削によりスクリューを得ることにより、表面の温度が優先的に上昇することにより、スクリューの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きい、好ましくは中心部のアスペクト比が外周部のアスペクト比の1.10~1.50倍、より好ましくは1.20~1.50倍、最も好ましくは1.30~1.50倍であるスクリューを提供することができる。

[0090] また、スクリューの製造方法は、(IV) スクリュー用母材を250℃以下で圧造することによりネジ頭部を成形する工程をさらに有するのがよい。該(IV)工程は、上記(III)工程の前に行っても後に行ってもよい。

実施例

[0091] <純チタン素材>

純チタン素材として、i) 線径が5.8mmの純チタン2種(CP-T2)(東邦テック(株)製)、及びii) 線径が6.0mmの純チタン4種(CP-T4)(東邦テック(株)製)、を準備した。また、iii) 純チタン2種に巨大ひずみ加工(UFG)を施して結晶を1μm以下に微細化したブロック形状の材料(川本重工(株)製)を準備し、該ブロック形状の材料から削り出しにより、線径6.0mmのバー材としたもの(FTi2)、を準備した。

[0092] これらを、(株)吉田記念製15HP-SD型(4方向)スエーシング装置を用いて、室温でスエーシング加工を数回に亘って施した。各スエーシングの単工程の真ひずみは0.15~0.25として、これを数回行うことにより、真ひずみが0からトータルで約3.7(加工度で約97%)の範囲となる4~5種のロッド状加工済み母材を調製した。

なお、各回のスエーシング加工は、放射温度計を用いて材料の表面温度を測定し、該温度が300~400℃になるように、表面温度、スエージャーの回転速度、バー材の前進速度、潤滑油の時間当たりの塗布等を調整した。ひずみ速度については、上記のスエージャーの条件から算出して求めた。

[0093] FTi2及びCP-T4を上記スエージング加工して得られたロッド状加工済み母材について、その酸素量は、購入メーカーによるものを用いた。

また、表面硬さ（又は外部硬さ）を、荷重2.94Nでマイクロビッカース硬さ試験機により測定した。なお、表面が曲面の場合、該曲面を少し削って平面にして、該平面に圧子を押し込みビッカース硬さを測定した。

それらの結果を表1に示す。

[0094] [表1]

表1. FTi2及びCP-T4のスエージング加工前及び加工後の酸素量とビッカース硬さ

	FTi2		CP-T4	
酸素量 (wt%)	0.12	0.14	0.28	0.34
加工前 (HV)	156	165	208	220
加工後 (HV)	225	240	289	308

[0095] <結晶子サイズ及び配向性>

結晶子サイズと配向性を求めるためのX線回折用の試料は、ロッド状加工済み母材の各々を軸方向に対して垂直な面で切断し、フェノール樹脂で樹脂埋めした。その樹脂埋めを行った試料について、各母材の軸方向に対して正確に垂直になるように、面を粗い方から順番に、#400、#800、#1200、#2400のSiCの耐水研磨紙により湿式研磨を行い、その後、二酸化シリコン懸濁液(OP-S)を用いてバフ研磨を行い、鏡面に仕上げた。

[0096] 結晶子サイズは、BRUKER社製X線回折装置(D8 ADVANCE)を用い、コバルトK α 線を、コバルト管球の出力35kV、電流40mAとして測定した。X線の走査範囲 $2\theta = 35.0^\circ \sim 48.0^\circ$ 、発散スリット径0.3mm、コリメータ径0.3mmとし、測定データの解析をBRUKER社製解析ソフトDIFFRAC.EVAを用いた。

[0097] 配向性は、上記と同条件でBRUKER社製X線回折装置(D8 ADVANCE)を用いて測定した。

試料の面内方向角度 ϕ は一周360度を5度刻みに72ステップ測定し、傾き角 ψ のレンジは始点を15度、終点を45度として測定し、得られた測定データを解析ソフトDIFFRAC.TEXTURE MRDB V4.1(BRUKER社製)を用いて、(1

0 - 1 0)面の極点図をそれぞれ作成した。極点図を図1に示す。

極点図全体の平均強度を1と規定した相対強度の最大値を最大比強度とした。なお、図1において、材料が等方的である場合、すなわち配向性がない場合、色の濃淡が少なく、配向性が現れると、ある角度で濃い部分が生じ、その角度の相対強度は高くなる。

[0098] 得られたロッド状加工済み母材について、結晶子サイズと純チタンの(100 - 1 0)面の軸方向の配向性を前記の条件により求めた。

[0099] <機械特性>

得られたロッド状加工済み母材について、引張り強さ、ビッカース硬さ、及び絞りの各機械特性を測定した。

引張試験は、アムスラー式万能試験機で測定した。

表面硬さ(又は外部硬さ)を、上述したとおり、荷重2.94Nでマイクロビッカース硬さ試験機により測定した。

また、内部硬さ(ロッド状加工済み母材の軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さ)を上述のとおり、測定した。

さらに、絞り(RA)は、引張り試験後の破断後のサンプルの径から式4により、面積に換算して求めた。式4において、 D_0 は試験前の材料の直径、 D_1 は引張試験後の材料のくびれ部の直径である。

[0100] [数5]

$$RA = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \times 100 \quad (\text{式4})$$

[0101] 図2～図4は、横軸を結晶子サイズ、縦軸を機械特性、とした図である。

具体的には、図2は、横軸を結晶子サイズ、縦軸を引張り強さ、とした図である。

また、図3は、横軸を結晶子サイズ、縦軸を表面硬さ、とした図である。

さらに、図4は、横軸を結晶子サイズ、縦軸を絞り、とした図である。

図2～図4から、母材が所望の機械特性、例えば引張り強さ800MPa以上、例えば表面硬さ200HV以上、例えば絞り45%以上、を有する場合、その結晶子サイズが280Å以下であることがわかる。

したがって、純チタンにおいて、結晶子サイズ280 Å以下であることによって、母材が所望の機械特性を有することがわかる。

[0102] 図5は、横軸を真ひずみ、縦軸を結晶子サイズ、とした図である。

図5から、結晶子サイズ280 Å以下とするためには、真ひずみを2以上（加工度86%以上）とするのがよいことがわかる。

また、上記図2～図4と相俟って、真ひずみを2以上（加工度86%以上）とすることにより、所望の機械特性を有する母材が得られることがわかる。

[0103] 図6は、横軸を真ひずみ、縦軸を最大比強度、とした図である。

図6から、最大比強度を3以上とするには、真ひずみを2以上であることがよいことが分かる。

図7～図9は、横軸を最大比強度、縦軸を機械特性とした図である。

具体的には、図7の縦軸は引張り強さ、図8の縦軸は表面硬さ、図9の縦軸は絞り、とした図である。

図7～図9から、最大比強度が3以上であると、所望の機械特性、例えば引張り強さ800MPa以上、例えば表面硬さ200HV以上、例えば絞り45%以上、を有することがわかる。

[0104] 図10は、素材CPT4を用いて得られた母材の、真ひずみ（横軸）と絞りの関係を示す図である。

図10から、真ひずみの上昇と共に絞りの値が上昇することがわかる。特に、真ひずみ3.5（加工度97%）では絞り値が70%以上に上昇していることがわかる。なお、この値は、純チタン2種に相当する値である。

また、図10から、真ひずみが2以上であれば、絞りが45%以上となることがわかる。

図10及び図5から、真ひずみが2以上（加工度86%以上）とするように、スエージング加工を施せばよいことがわかる。

[0105] 図11は、ロッド状加工済み母材の軸方向と直交する略円形断面において、「内部硬さ」を測定した点を表す図である。図中、「0」で表される点が

中心部の硬さを測定した点であり、「3/4」で表される点が、半径の3/4の位置での外周部の硬さを測定した点である。なお、図中、「1/2」で表される点は、半径の1/2の位置での中心部と外周部との間にある点であり、中心部と外周部だけでなくその間についての硬さも測定した。

表2は、図11の各点で測定したビッカース硬さを示す。表2から、ロッド状加工済み母材の軸方向と直交する略円形断面において、中心部（「0」点）の硬さが297HVであり、外周部（「3/4」点）の硬さが304HV又は305HVであり、その差が8HVであり、略同一であることがわかる。

[0106] [表2]

表2. ロッド状加工済み母材の軸方向と直交する略円形断面における中心部と外周部の硬さ

図11の測定位置	ビッカース硬さ (HV)
3/4	305
1/2	299
0	297
1/2	300
3/4	304

[0107] <頭部成形性>

今回のロッド状加工済み母材を用いて形成したスクリューの頭部成形性を表1に示す。

なお、ロッド状加工済み母材からスクリューは、通常のねじ成形のようにアップセッティング（圧造）することにより形成することができた。

表3から、素材としてii) CP-T4を用いて、真ひずみ2.65（加工度93%）以上で得られたロッド状加工済み母材は、通常、真ひずみ0（加工度0%）付近にて400℃以上で行っていた頭部の圧造加工が、より低い200℃で行えることがわかる。

[0108]

[表3]

表 3.

	真ひずみ 加工度 (%)	加工温度 (°C)					
		100	150	200	250	300	350
C P - T 4	0 (0%)	×	×	×	×	△	○
	2.0 (86%)	×	×	○	○	○	○
	2.65 (93%)	×	×	○	○	○	○
F T i 2	0 (0%)	×	×	○	○	○	○
	2.65 (93%)	×	×	○	○	○	○

○安定して加工ができる △加工は可能である ×頭部にき裂が入る

[0109] 従来、純チタンの中で酸素量の高い純チタン4種の医療用スクリューは、材料の強度は高いが塑性加工性に乏しく、200℃以下の温度で医療用スクリューの圧造をすることは困難であったため、ねじの頭は熱間加工（400℃以上）、又は切削により成形されていた。これらの温度域での加工は固体潤滑を必要とし、生産性が著しく低下した。コストダウンおよび生産性の向上のためには、250℃以下で圧造が可能な塑性加工性（特に絞り）を有する同材料が求められていた。

しかしながら、表3からわかるように、本発明により、250℃以下であっても圧造による頭部加工が可能となったことがわかる。

[0110] 図12に頭部のリセスをヘキサロピュラ形状に加工したときのC P - T 4の頭部の写真を示す。C P - T 4を加工せずに用いた場合（真ひずみ0、加工度0%）、200℃では、図12のA1、A2及びA3で示すように、ねじの頭部にき裂（延性破壊）が生じて、頭部成形ができなかった。しかしながら、素材としてi i) C P - T 4を用いて、真ひずみ2（加工度86%）と真ひずみ2.65（加工度93%）で得られたロッド状加工済み母材は、亀裂を生じることなく正常に加工することができた。

[0111] 上記で得られたロッド状加工済み母材を切削加工することによりスクリュー形状を付与した。具体的には、超硬の切削工具により、一定流量の切削油をかけながら旋削加工によりねじを成形した。

これにより得られたスクリューについて、軸方向、すなわちスクリューの長手方向と平行な面であってスクリューの軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比を、日立ハイテク製F E S E M（電界放出型走査型電子顕微鏡

: Field Emission Scanning Electron Microscope、型式 : SU5000) 付属の E D A X 社製結晶方位解析用検出器 (型式 : EDS/EBSD インテグレーションシステム Pegasus) を用いて E B S D パターンを測定し、E D A X 社製結晶方位解析ソフトウェア (型式 : OIM Analysis v8) を用いて解析することにより、測定した。より具体的には、S E M 画像は加速電圧 15 k V、エミッション電流 $70 \mu\text{A}$ で観察し、E B S D パターンは $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ の領域をステップ幅 $0.1 \mu\text{m}$ で測定し、バックグラウンド除去後に解析した。各測定ピクセル間の結晶方位に 5° 以上の差がある場合に結晶粒界とし、少なくとも 5 つ以上連結したピクセルが存在する領域が結晶粒として認識されるように解析パラメータを設定した。同定した結晶粒を楕円近似し、その長軸 / 短軸をアスペクト比とした。

[0112] 図 1 3 に、測定したスクリューについて、測定した面とその箇所の概略図を示すと共に、得られたアスペクト比の結果を示す。

図 1 3 から、中心部のアスペクト比は 3.82 であるのに対して、外周部のアスペクト比は 2.71 であった。このことから、外周部の結晶の粒状化が進み、スクリューのねじり強度が向上したことがわかる。また、母材からスクリューへの切削加工により発生した表面の加工熱により、外周部が優先的に加熱されることでこの部分のひずみが除去され、耐摩耗性が向上し、セルフドリリングスクリューとしての特性を備わることがわかる。

[0113] <硬さと酸素量とセルフドリリング>

素材として i i) C P - T 4 を用いて得られたねじ (酸素量 : 0.28 w t % 及び 0.34 w t %) ; 及び F T i 2 を用いて得られたねじ (酸素量 : 0.12 w t % 及び 0.14 w t %) について、その硬さ (中心部と外周部) を測定した。横軸を酸素量、縦軸を中心部の硬さとした図 1 4 にその結果を示す。

なお、ねじは、ねじ部外径 1.3 mm、長さ 6 mm の標準的なアンカースクリュー形状を用い、ドリルとなる先端のカッターも、切込みをいれたシングルカットの標準的なものとした。

[0114] CP-T4を用いて得られたねじ（酸素量：0.34wt%）について中心部の硬さと外周部の硬さを測定した。その結果、中心部の硬さが299HVであり、外周部の硬さが295HVであり、その差が4HVであることがわかった。この結果から、ねじ（スクリュー）とした場合も、上記表2の結果である母材における中心部の硬さと外周部の硬さの結果と同様に、スクリューの軸方向と直交する略円形断面において、中心部の硬さと外周部の硬さが略同一であることがわかる。

[0115] また、それらのねじを用いてセルフドリリングスクリューとして用いることができるか、を検討した。検討結果を、図14中、「○」、「△」及び「×」で表した。具体的には、対象物として模擬骨（Sawbones社製 Solid rigid polyurethane 20pct、2cm角ブロック）を用いてねじをセルフドリリングし、次の結果を得た。

[0116] すなわち、酸素量が0.12wt%であるねじは、中心部の硬さが225HV程度であった。また、酸素量が0.12wt%であるねじ5本を用いた場合、5本中4本のねじ本体が破断した（図14中、「×」と表記）。

また、酸素量が0.14wt%であるねじは、中心部の硬さが240HV程度であった。また、酸素量が0.14wt%であるねじ5本を用いた場合、5本中2本のねじ本体が破断した（図14中、「△」と表記）。

一方、酸素量が0.28wt%及び0.34wt%のねじは、その中心部の硬さがそれぞれ290HV程度及び310HV程度であり、それらのねじ各々5本を用いた場合、5本全部について埋植が正常に完了した（図14中、「○」と表記）。

[0117] <ねじり破断強度と酸素量とセルフドリリング>

<硬さと酸素量とセルフドリリング>と同様に、i) CP-T4を用いて得られたねじ（酸素量：0.28wt%及び0.34wt%）；及びFTi2を用いて得られたねじ（酸素量：0.12wt%及び0.14wt%）について、そのねじり破断強度を測定した。その結果を、横軸を酸素量、縦軸にねじり強度とした図15に示す。

図15から、酸素量が0.12wt%であるねじは、ねじり破断強度が9.6Ncm程度であった。また、上述したとおり、酸素量が0.12wt%であるねじ5本を用いた場合、5本中4本のねじ本体が破断した。

図15から、酸素量が0.14wt%であるねじは、ねじり破断強度が10Ncm程度であった。また、上述したとおり、酸素量が0.14wt%であるねじ5本を用いた場合、5本中2本のねじ本体が破断した。

一方、酸素量が0.28wt%及び0.34wt%のねじは、そのねじり破断強度がそれぞれ13Ncm程度及び14Ncm程度であり、それらのねじ各々5本を用いた場合、5本全部について埋植が正常に完了した。

これらのことから、酸素量が一定以上のねじを用いることにより、セルフドリリングスクリューを提供できることがわかった。

[0118] 歯科矯正用アンカースクリューガイドライン（日本矯正歯科学会、2012年）によるとアンカースクリューのねじり破断トルクとして、11Ncm以上が推奨されている。図15において、11Ncm以上を満足するためには、酸素量が0.2%以上が必要となる。また、図14より、酸素量0.2%以上は、硬さがHV250以上となる。すなわち、硬さ、具体的には表面硬さ又は内部硬さ（中心部の硬さ及び／又は外周部の硬さ）が250HV以上、好ましくは270HV以上、具体的には270～340HV、より好ましくは290HV以上、具体的には290～320HVとすると、セルフドリリングスクリューとして用いることができることがわかる。

請求の範囲

- [請求項1] 略円筒形の純チタン製スクリユー用母材又はスクリユーであって、前記略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一であるスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項2] 前記スクリユー用母材又はスクリユーは、その全重量を100wt%とした場合、酸素量が0.2~0.4wt%である請求項1に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項3] 前記純チタンの結晶子サイズが280Å以下である請求項1又は2に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項4] 以下の特性i)~iii)のうちの少なくとも1つの特性を有する請求項1~3のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー：
特性i)：引張り強さが800MPa以上；
特性ii)：表面硬さが200HV以上；
特性iii)：絞りが45%以上。
- [請求項5] 前記純チタンが、純チタン2種、純チタン3種、純チタン4種、及び結晶粒を1μm以下に微細化された純チタンからなる群から選ばれる請求項1~4のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項6] 前記純チタンが、純チタン4種である請求項1~5のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項7] 前記スクリユー用母材又はスクリユーがスクリユーであり、該スクリユーの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きい請求項1~6のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。
- [請求項8] 前記スクリユー用母材又はスクリユーがスクリユーであり、前記表

面硬さ及び／又は内部硬さが250HV以上である請求項1～7のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。

[請求項9] スクリユー用母材又はスクリユーが医療用アンカースクリユー用母材または医療用アンカースクリユーである請求項1～8のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。

[請求項10] スクリユー用母材又はスクリユーが歯科矯正用アンカースクリユー用母材または歯科矯正用アンカースクリユーである請求項1～9のいずれか一項に記載のスクリユー用母材又はスクリユー。

[請求項11] (1) 略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

(11) 前記純チタン素材をスエージングする工程；
を有して、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上である略円筒状のスクリユー用母材であって前記略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一であるスクリユー用母材を得る工程を有する、スクリユー用母材の製造方法。

[請求項12] (1) 略円筒形でありその断面積がA0である純チタン素材を準備する工程；及び

(11) 前記純チタン素材をスエージングする工程；
のみからなり、スエージング後の断面積がA1であり、 $\ln(A0/A1)$ で表される真ひずみが2以上である略円筒状のスクリユー用母材であって前記略円筒形の軸方向の(1 0 -1 0)面の配向性の比強度の最大値が3以上であり、該軸方向と直交する略円形断面における中心部の硬さと外周部の硬さが略同一であるスクリユー用母材を得る工程を有する、スクリユー用母材の製造方法。

[請求項13] (111) 請求項11又は請求項12に記載の方法で得られた略円筒状のスクリユー用母材にスクリユー形状を付与する工程；

をさらに有することにより、スクリューを得る、スクリューの製造方法。

[請求項14] 前記(III)工程において、略円筒状のスクリュー用母材を切削することによりスクリュー形状を付与する請求項13に記載のスクリューの製造方法。

[請求項15] (IV)請求項11又は請求項12に記載の方法で得られた略円筒状のスクリュー用母材を250℃以下で圧造することによりネジ頭部を成形する工程をさらに有する、請求項13又は14に記載のスクリューの製造方法。

[請求項16] 前記純チタン素材は、その全重量を100wt%とした場合、酸素量が0.2~0.4wt%である請求項11~15のいずれか1項に記載の方法。

[請求項17] 前記純チタン素材の結晶子サイズが280Å以下である請求項11~16のいずれか一項に記載の方法。

[請求項18] 前記略円筒状のスクリュー用母材又は略円筒状のスクリューの純チタンの結晶子サイズが280Å以下である請求項11~17のいずれか一項に記載の方法。

[請求項19] 前記略円筒状のスクリュー用母材又は略円筒状のスクリューが、以下の特性i)~iii)のうちの少なくとも1つの特性を有する請求項11~18のいずれか一項に記載の方法：

特性i)：引張り強さが800MPa以上；

特性ii)：表面硬さが200HV以上；

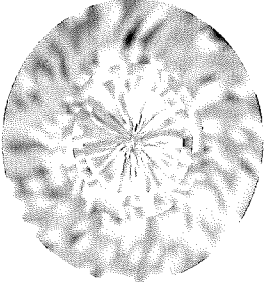
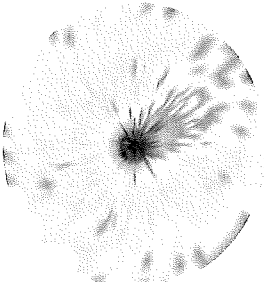
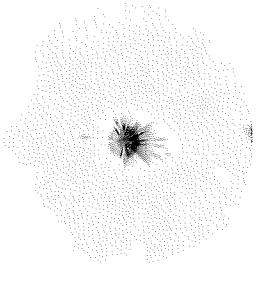
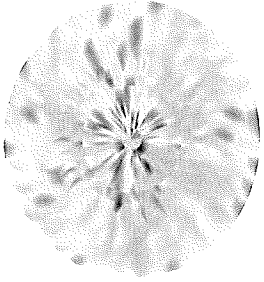
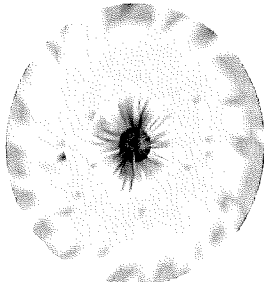
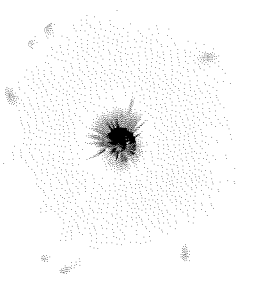
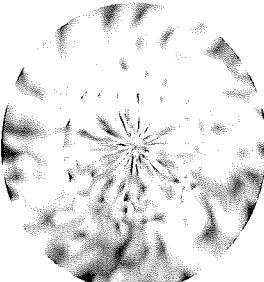
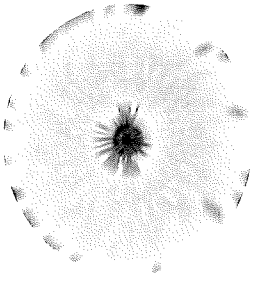
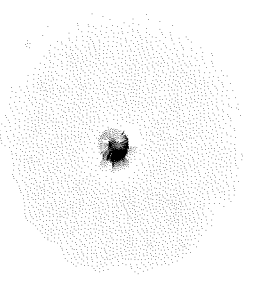
特性iii)：絞りが45%以上。

[請求項20] 前記純チタン素材が、純チタン2種、純チタン3種、純チタン4種、及び結晶粒を1μm以下に微細化された純チタンからなる群から選ばれる請求項11~19のいずれか一項に記載の方法。

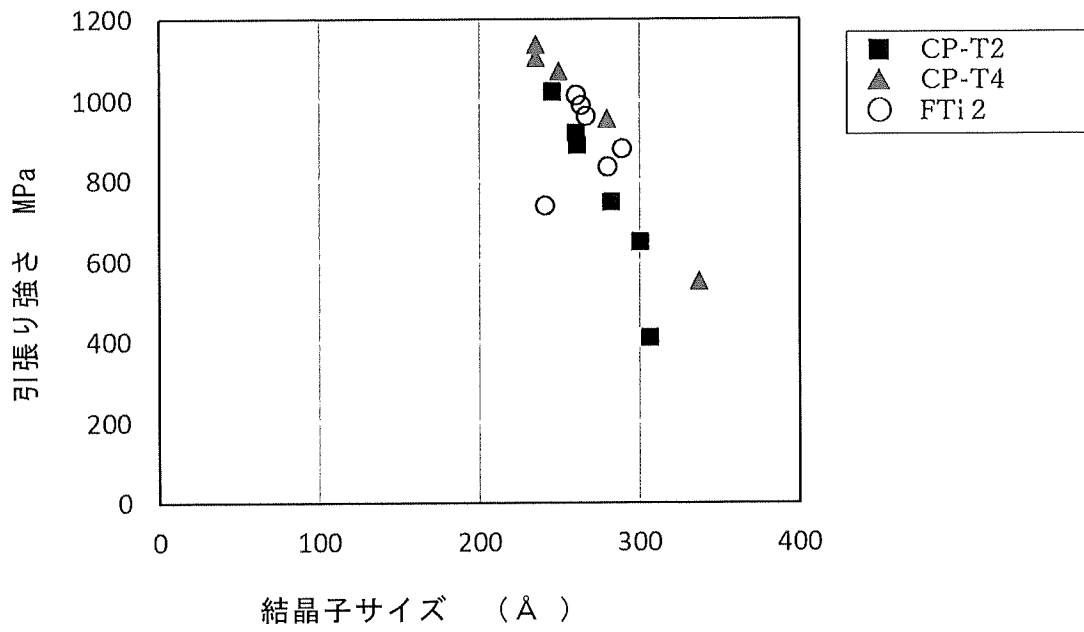
[請求項21] 前記純チタン素材が、純チタン4種である請求項11~20のいずれか一項に記載の方法。

- [請求項22] 前記スクリユー用母材又はスクリユーがスクリユーであり、該スクリユーの軸方向と平行な面であって該軸を含む面におけるチタン結晶のアスペクト比が外周部よりも中心部が大きい請求項11～21のいずれか一項に記載の方法。
- [請求項23] 前記スクリユー用母材又はスクリユーがスクリユーであり、前記表面硬さ及び／又は内部硬さが250HV以上である請求項11～22のいずれか一項に記載の方法。
- [請求項24] スクリユー用母材又はスクリユーが医療用アンカースクリユー用母材または医療用アンカースクリユーである請求項11～23のいずれか一項に記載の方法。
- [請求項25] スクリユー用母材又はスクリユーが歯科矯正用アンカースクリユー用母材または歯科矯正用アンカースクリユーである請求項11～24のいずれか一項に記載の方法。

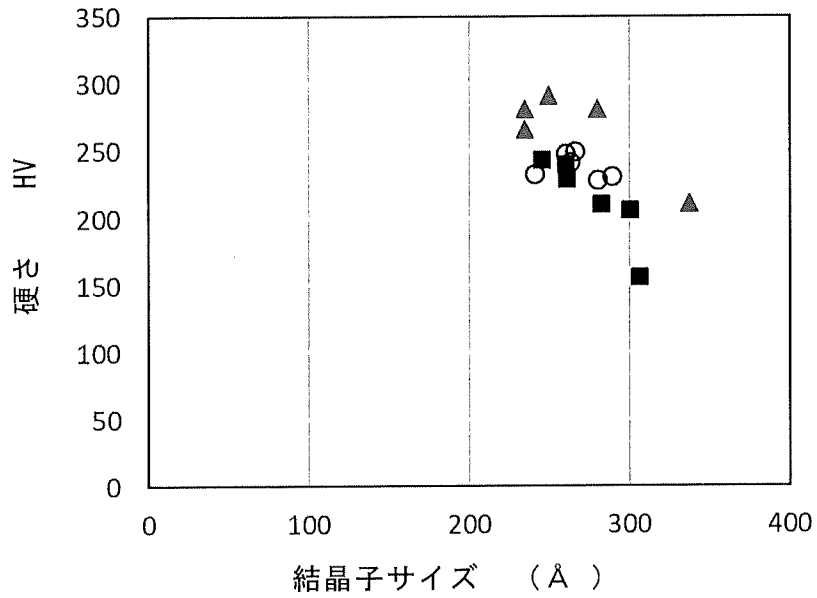
[図1]

	真ひずみ		
	0	2.0	3.7
CP-T2			
CP-T4			
FTi2			

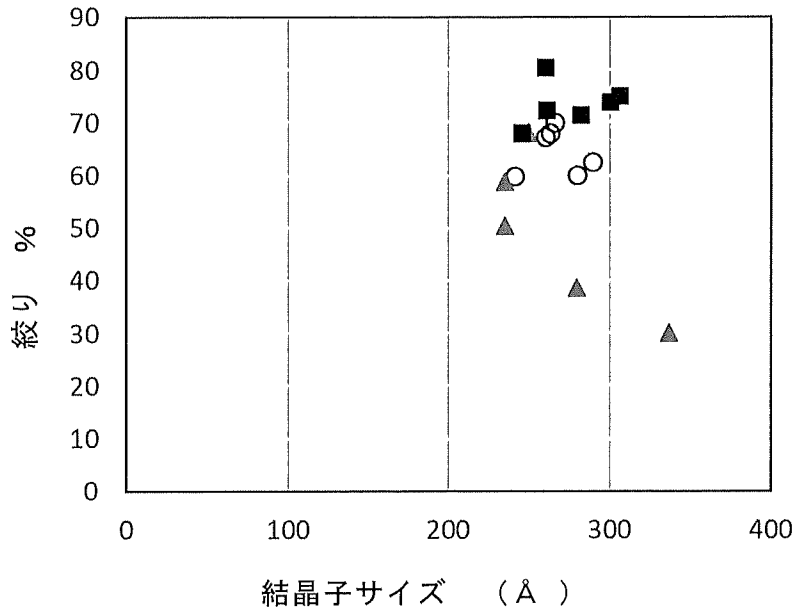
[図2]



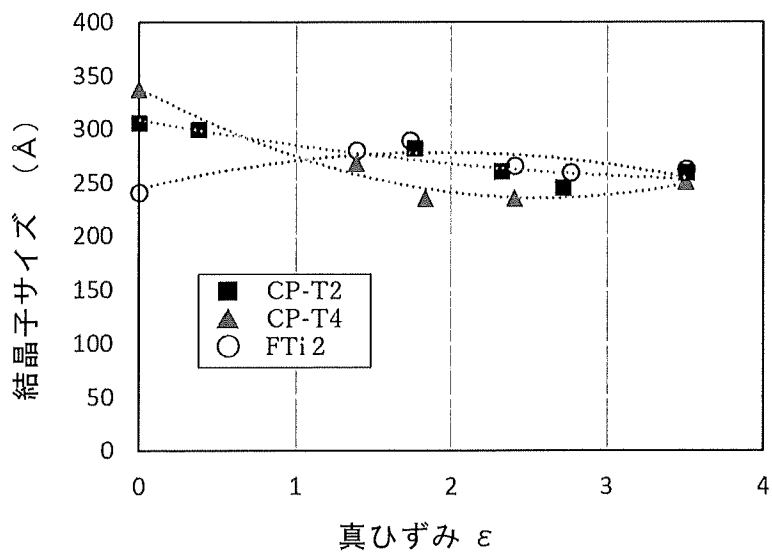
[図3]



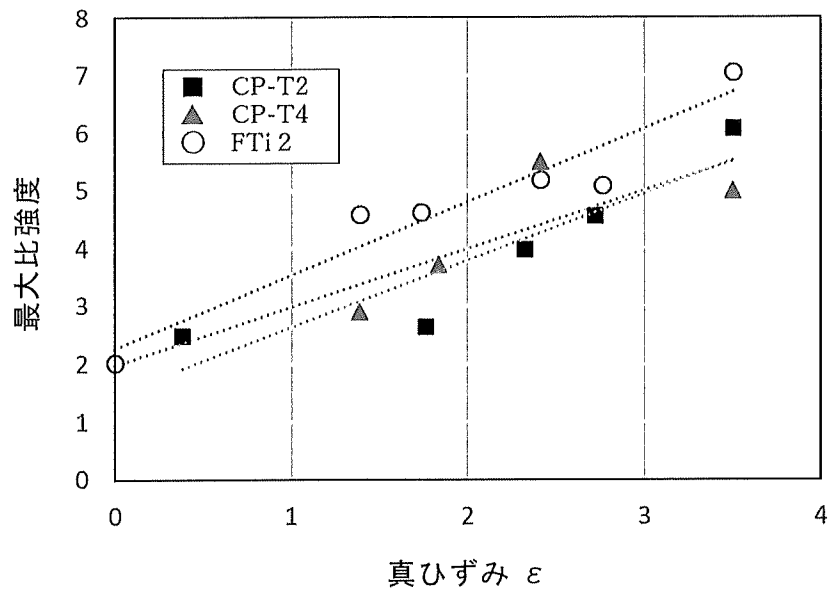
[図4]



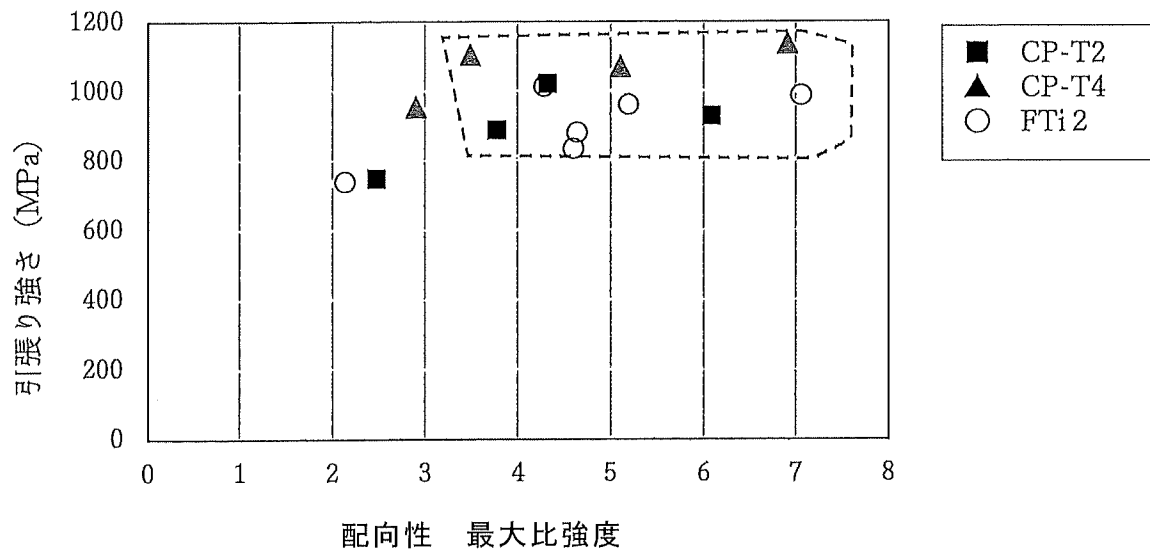
[図5]



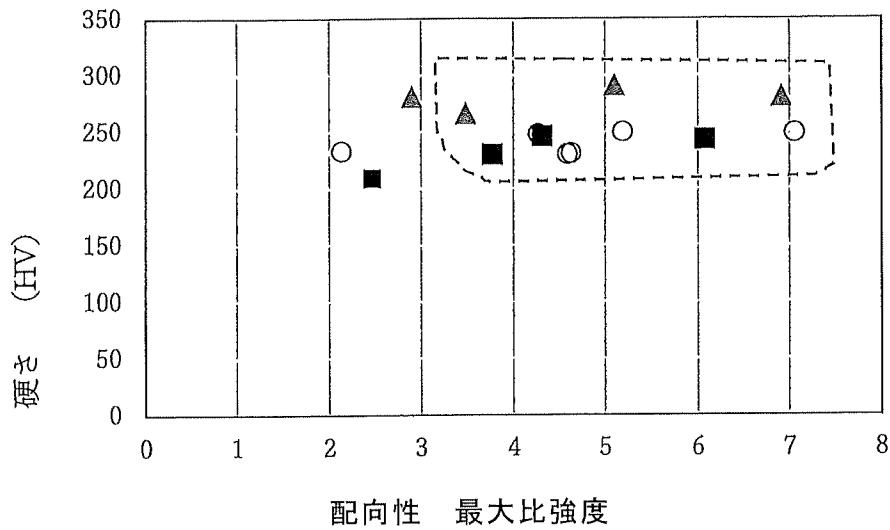
[図6]



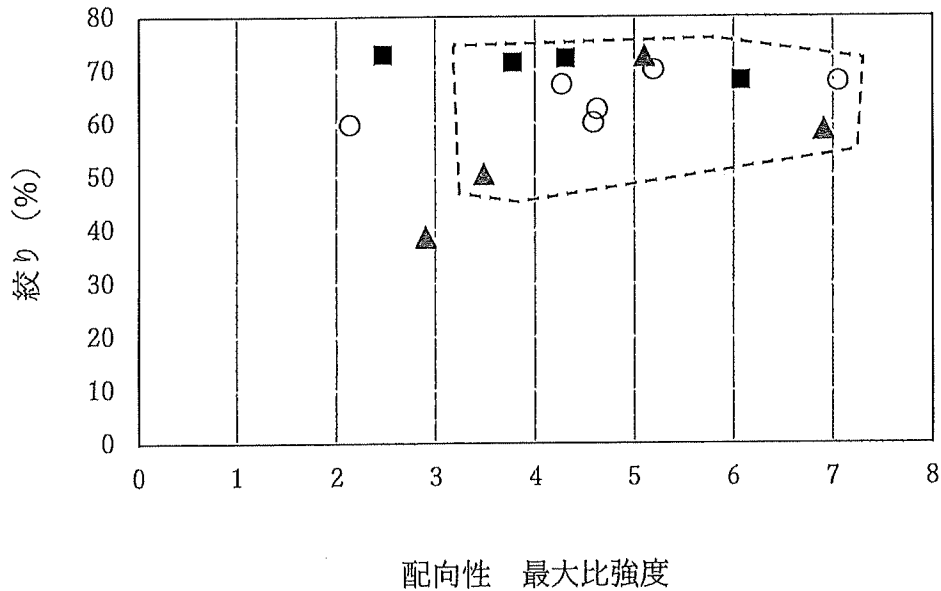
[図7]



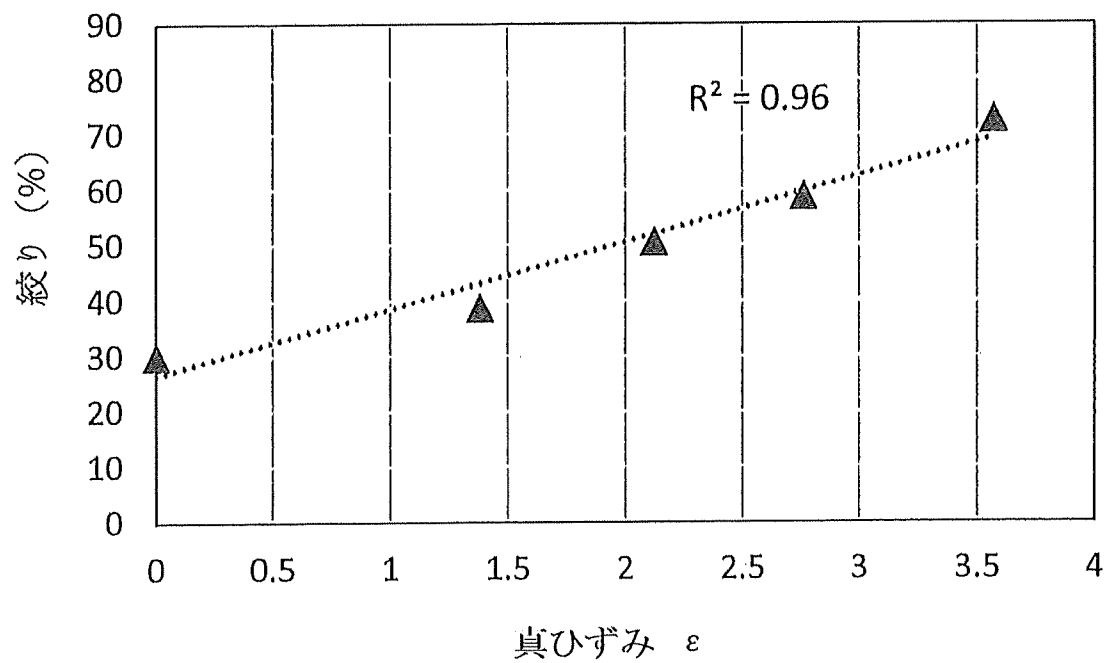
[図8]



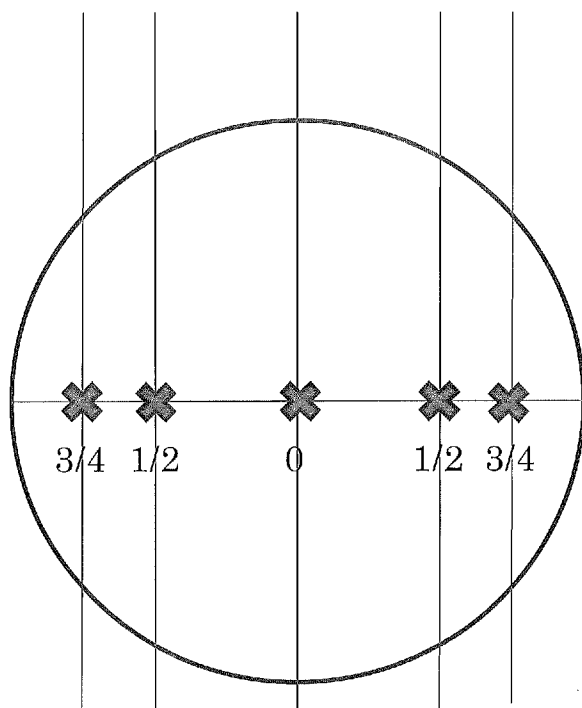
[図9]



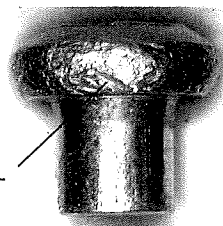
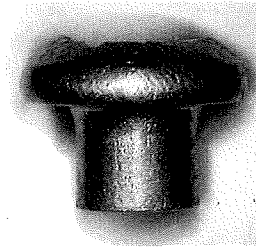
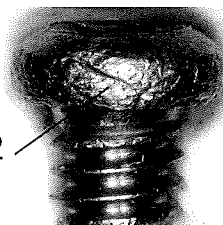
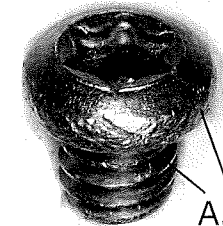
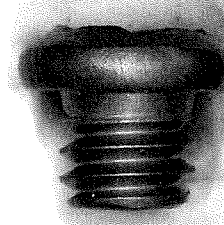
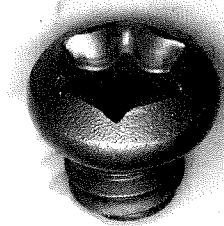
[図10]



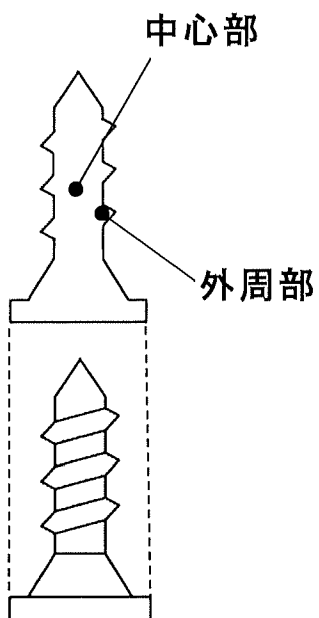
[図11]



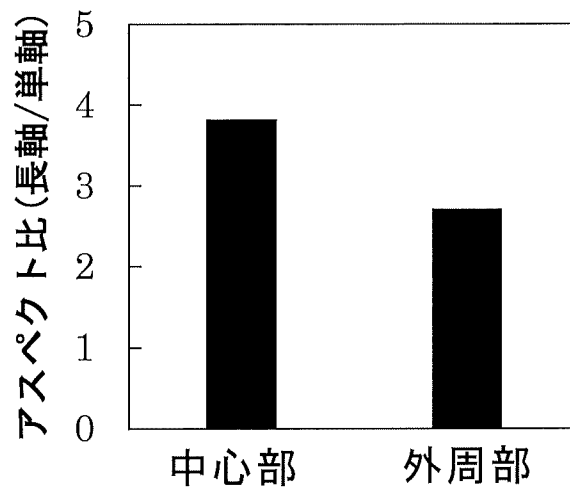
[図12]

素材 CP-Ti4	真ひずみ 0 (加工度 0%)	真ひずみ 2.65 (加工度 93%)
ねじ頭部成形 (圧造加工のみ)	 A1	
ねじ成形 (圧造加工 + ねじ転造加工)	 A2  A3	 

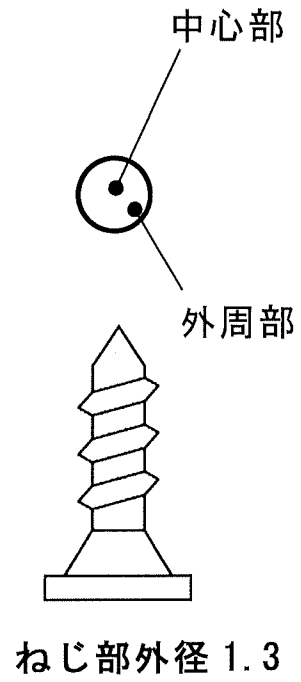
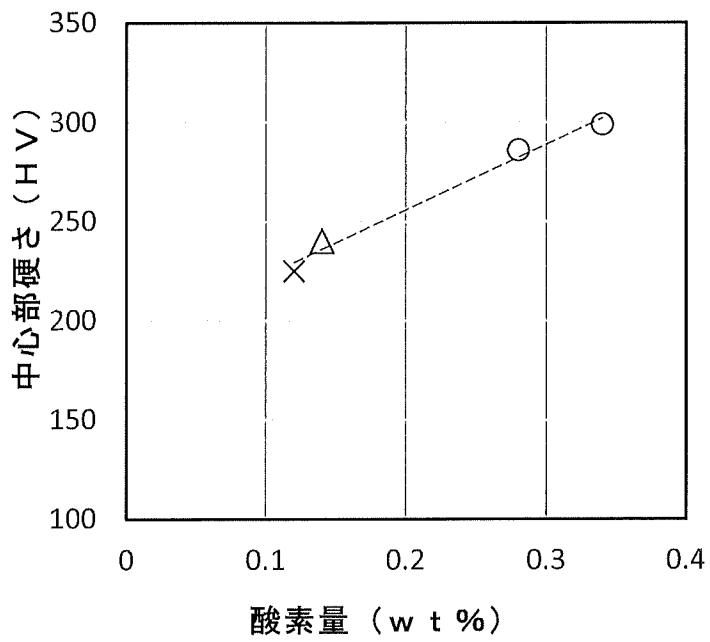
[図13]



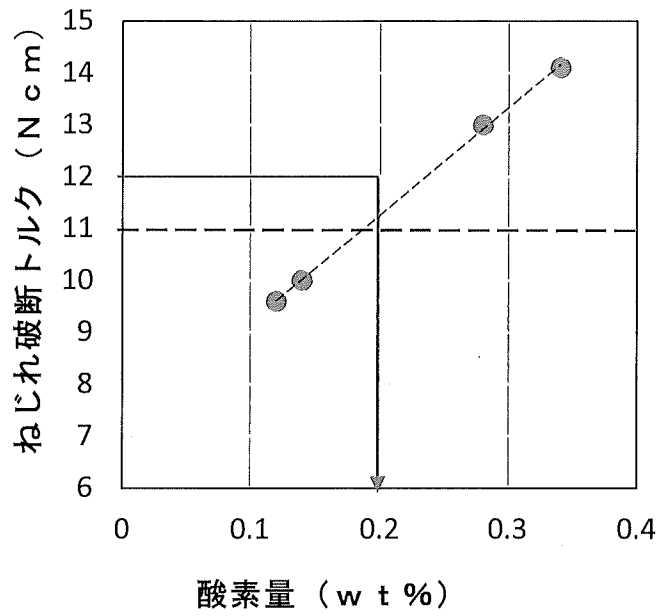
ねじ部外径 1.3



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/044585

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<p>A61L 27/06(2006.01)i; B21C 1/00(2006.01)i; C22C 14/00(2006.01)i; C22F 1/00(2006.01)i; C22F 1/18(2006.01)i FI: A61L27/06; B21C1/00 N; C22C14/00 Z; C22F1/00 604; C22F1/00 606; C22F1/00 624; C22F1/00 630A; C22F1/00 630C; C22F1/00 630K; C22F1/00 631A; C22F1/00 675; C22F1/00 685A; C22F1/00 694B; C22F1/00 694Z; C22F1/18 H</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61L27/06; B21C1/00; C22C14/00; C22F1/00; C22F1/18		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII); Cplus/MEDLINE/EMBASE/BIOSIS (STN)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2014/038487 A1 (MIURA, Hiromi) 13 March 2014 (2014-03-13) claims, paragraphs [0027]-[0058], examples	1-25
Y		2, 6, 16, 21
X	JP 2016-505387 A (INSTYTUT WYSOKICH CISNIEN POLSKIEJ AKADEMII NAUK) 25 February 2016 (2016-02-25) claims, paragraphs [0001]-[0004], examples	1-25
Y		2, 6, 16, 21
X	JP 2021-508764 A (SICHUAN UNIVERSITY) 11 March 2021 (2021-03-11) claims, paragraphs [0001]-[0008], examples	1-25
Y		2, 6, 16, 21
X	JP 2021-102225 A (UNIV TOYOHASHI TECHNOLOGY) 15 July 2021 (2021-07-15) claims, paragraphs [0002]-[0020], [0025]-[0032], examples	1-25
Y		2, 6, 16, 21
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 01 February 2024		Date of mailing of the international search report 13 February 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/044585

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2020-121331 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 13 August 2020 (2020-08-13) paragraph [0101]	2, 6, 16, 21
Y	JP 2019-510548 A (41 MEDICAL AG) 18 April 2019 (2019-04-18) paragraph [0065]	2, 6, 16, 21
P, X	WO 2022/259731 A1 (MARUEMU WORKS CO., LTD.) 15 December 2022 (2022-12-15) claims, examples	1-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/044585

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2014/038487	A1	13 March 2014	(Family: none)	
JP	2016-505387	A	25 February 2016	US 2015/0336147 A1 claims, paragraphs [0001]- [0004], examples WO 2014/092590 A1 EP 2931448 A1	
JP	2021-508764	A	11 March 2021	WO 2019/100809 A1 claims, p. 1, line 2 to p. 2, line 9, examples CN 107881447 A	
JP	2021-102225	A	15 July 2021	(Family: none)	
JP	2020-121331	A	13 August 2020	(Family: none)	
JP	2019-510548	A	18 April 2019	US 2019/0029741 A1 paragraph [0085] WO 2017/139903 A1 EP 3416575 A1	
WO	2022/259731	A1	15 December 2022	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>A61L 27/06(2006.01)i; B21C 1/00(2006.01)i; C22C 14/00(2006.01)i; C22F 1/00(2006.01)i; C22F 1/18(2006.01)i</p> <p>FI: A61L27/06; B21C1/00 N; C22C14/00 Z; C22F1/00 604; C22F1/00 606; C22F1/00 624; C22F1/00 630A; C22F1/00 630C; C22F1/00 630K; C22F1/00 631A; C22F1/00 675; C22F1/00 685A; C22F1/00 694B; C22F1/00 694Z; C22F1/18 H</p>																							
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>A61L27/06; B21C1/00; C22C14/00; C22F1/00; C22F1/18</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2024年</td> </tr> </table> <p>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）</p> <p>JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII); CPlus/MEDLINE/EMBASE/BIOSIS (STN)</p>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2024年	日本国実用新案登録公報	1996-2024年	日本国登録実用新案公報	1994-2024年													
日本国実用新案公報	1922-1996年																						
日本国公開実用新案公報	1971-2024年																						
日本国実用新案登録公報	1996-2024年																						
日本国登録実用新案公報	1994-2024年																						
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>WO 2014/038487 A1 (三浦博己) 13.03.2014 (2014-03-13) 請求の範囲, [0027]-[0058], 実施例</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 6, 16, 21</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2016-505387 A (インスティトゥト ヴィソキフ チシニエン ボルスキエイ アカデ ミイ ナウク) 25.02.2016 (2016-02-25) 特許請求の範囲, [0001]-[0004], 実施例</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 6, 16, 21</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2021-508764 A (スーチュアン ユニバーシティー) 11.03.2021 (2021-03-11) 特許請求の範囲, [0001]-[0008], 実施例</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 6, 16, 21</td> </tr> </tbody> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“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</p> <p>“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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抵 触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引 用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>			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	WO 2014/038487 A1 (三浦博己) 13.03.2014 (2014-03-13) 請求の範囲, [0027]-[0058], 実施例	1-25	Y		2, 6, 16, 21	X	JP 2016-505387 A (インスティトゥト ヴィソキフ チシニエン ボルスキエイ アカデ ミイ ナウク) 25.02.2016 (2016-02-25) 特許請求の範囲, [0001]-[0004], 実施例	1-25	Y		2, 6, 16, 21	X	JP 2021-508764 A (スーチュアン ユニバーシティー) 11.03.2021 (2021-03-11) 特許請求の範囲, [0001]-[0008], 実施例	1-25	Y		2, 6, 16, 21
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	WO 2014/038487 A1 (三浦博己) 13.03.2014 (2014-03-13) 請求の範囲, [0027]-[0058], 実施例	1-25																					
Y		2, 6, 16, 21																					
X	JP 2016-505387 A (インスティトゥト ヴィソキフ チシニエン ボルスキエイ アカデ ミイ ナウク) 25.02.2016 (2016-02-25) 特許請求の範囲, [0001]-[0004], 実施例	1-25																					
Y		2, 6, 16, 21																					
X	JP 2021-508764 A (スーチュアン ユニバーシティー) 11.03.2021 (2021-03-11) 特許請求の範囲, [0001]-[0008], 実施例	1-25																					
Y		2, 6, 16, 21																					
<p>国際調査を完了した日</p> <p>01.02.2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>13.02.2024</p>																						
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>石井 裕美子 4C 3402</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3452</p>																						

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	JP 2021-102225 A (国立大学法人豊橋技術科学大学) 15.07.2021 (2021 - 07 - 15) 特許請求の範囲, [0002]-[0020], [0025]-[0032], 実施例	1-25
Y		2, 6, 16, 21
Y	JP 2020-121331 A (日本製鉄株式会社) 13.08.2020 (2020 - 08 - 13) [0101]	2, 6, 16, 21
Y	JP 2019-510548 A (4 I メディカル アーゲー) 18.04.2019 (2019 - 04 - 18) [0065]	2, 6, 16, 21
P, X	WO 2022/259731 A1 (株式会社丸エム製作所) 15.12.2022 (2022 - 12 - 15) 請求の範囲, 実施例	1-25

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/044585

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2014/038487 A1	13.03.2014	(ファミリーなし)	
JP 2016-505387 A	25.02.2016	US 2015/0336147 A1 Claims, [0001]-[0004], Examples WO 2014/092590 A1 EP 2931448 A1	
JP 2021-508764 A	11.03.2021	WO 2019/100809 A1 特許請求の範囲, 第1頁第2 行-第2頁第9行, 実施例 CN 107881447 A	
JP 2021-102225 A	15.07.2021	(ファミリーなし)	
JP 2020-121331 A	13.08.2020	(ファミリーなし)	
JP 2019-510548 A	18.04.2019	US 2019/0029741 A1 [0085] WO 2017/139903 A1 EP 3416575 A1	
WO 2022/259731 A1	15.12.2022	(ファミリーなし)	