

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7635112号
(P7635112)

(45)発行日 令和7年2月25日(2025.2.25)

(24)登録日 令和7年2月14日(2025.2.14)

(51)国際特許分類	F I		
C 2 2 C 14/00 (2006.01)	C 2 2 C 14/00	Z	
C 2 2 C 1/04 (2023.01)	C 2 2 C 1/04	E	
C 2 2 C 21/00 (2006.01)	C 2 2 C 21/00	N	
C 2 2 C 22/00 (2006.01)	C 2 2 C 22/00		
C 2 2 C 27/04 (2006.01)	C 2 2 C 27/04	1 0 2	
請求項の数 10 (全13頁)			

(21)出願番号	特願2021-189787(P2021-189787)	(73)特許権者	000003609 株式会社豊田中央研究所 愛知県長久手市横道4 1 番地の1
(22)出願日	令和3年11月24日(2021.11.24)	(73)特許権者	000003218 株式会社豊田自動織機 愛知県刈谷市豊田町2 丁目1 番地
(65)公開番号	特開2022-93280(P2022-93280A)	(74)代理人	100113664 弁理士 森岡 正往
(43)公開日	令和4年6月23日(2022.6.23)	(74)代理人	110001324 特許業務法人S A N S U I 国際特許事務所
審査請求日	令和5年12月6日(2023.12.6)	(72)発明者	古田 忠彦 愛知県長久手市横道4 1 番地の1 株式 会社豊田中央研究所内
(31)優先権主張番号	特願2020-206145(P2020-206145)	(72)発明者	鈴木 潤也
(32)優先日	令和2年12月11日(2020.12.11)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非磁性部材およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

交番磁界中で用いられる非磁性部材であって、
合金全体に対する質量割合で、Al当量が1~11となる 相安定化元素と、Mo当量が6~17となる 相安定化元素とを含み、下記の組成割合を満たすチタン合金を備える非磁性部材。

- Al : 7 ~ 10 %、
- Mo : 1 ~ 5 %、
- Fe : 0 . 5 ~ 3 . 5 %、
- Mn : 0 . 2 ~ 3 %、
- 残部 : Ti および不純物

【請求項2】

前記チタン合金は、その全体に対する質量割合で、さらにVを4~8%含む請求項1に記載の非磁性部材。

【請求項3】

前記チタン合金は、その全体に対する質量割合で、さらにSを0.1~1%含む請求項1または2に記載の非磁性部材。

【請求項4】

前記チタン合金は、体心立方格子構造組織(「bcc組織」という。)中に、六方最密格子構造組織(「hcp組織」という。)が島状に分布した複合組織からなる請求項1~

3のいずれかに記載の非磁性部材。

【請求項5】

前記hcp組織は、前記複合組織全体に対して30～70体積%ある請求項4に記載の非磁性部材。

【請求項6】

前記チタン合金は、比抵抗が $2\mu\text{m}$ 以上である請求項1～5のいずれかに記載の非磁性部材。

【請求項7】

前記チタン合金は、0.2%耐力が1150MPa以上である請求項1～6のいずれかに記載の非磁性部材。

【請求項8】

前記チタン合金は、焼結材からなる請求項1～7のいずれかに記載の非磁性部材。

【請求項9】

請求項8に記載の非磁性部材の製造方法であって、
粉末から焼結体を得る焼結工程と、
該焼結体を該非磁性部材に応じた所望形状にする加工工程とを備え、
該加工工程後に少なくとも溶体化処理を施さずに前記チタン合金を得る非磁性部材の製造方法。

【請求項10】

前記粉末は、少なくとも、フェロモリブデン粉末と、硫化マンガン粉末とを含む請求項9に記載の非磁性部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、交番磁界中で用いられる非磁性部材等に関する。

【背景技術】

【0002】

電磁気を利用した機器（単に「電磁機器という。）は、電動機（モータの他、ジェネレータも含む。）、アクチュエータなど種々あり、交番磁界を利用していることが多い。このような電磁機器は、省エネルギー化を図るために、交番磁界中で使用したときの高周波損失の低減が求められる。特に、（超）高回転する電動機等では、その回転数（交番磁界の周波数）の2乗に比例して大きくなる渦電流損を低減することが強く求められる。例えば、モータのロータコアやステータコア等は、交番磁界に直交する方向に生じる渦電流を抑制するため、絶縁層で被覆された電磁鋼板を積層して構成されることが多い。

【0003】

しかし、交番磁界中で使用される部材（「電磁用部材」という。）には、そのような構成を採用し難いものもある。この場合、電気抵抗率（単に「比抵抗」という。）の高い材質で電磁用部材を構成して、渦電流損を低減する必要がある。

【0004】

なお、磁気回路中に配設される電磁用部材は磁性材とは限らず、非磁性材の場合もある。また、電磁用部材は、電気的特性（例えば比抵抗）や磁気的特性（例えば透磁率）だけでなく、所定の機械的特性（剛性、強度、延性等）を満たすことも要求され得る。このような電磁用部材に関連する記載が下記の特許文献にある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2001-339886

【文献】特開2008-29153

【文献】特開2020-43746

【文献】特開平5-5142

10

20

30

40

50

【文献】特許第3712614号 (WO2000/005425)

【文献】特開2005-320618

【文献】特表2005-524774 (WO2003/095690)

【文献】米国特許第4731115号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1、2には、非磁性材からなる電磁用部材（「非磁性部材」という。）の一例として、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）からなる保護管（スリーブ）に関する記載がある。保護管は、モータのロータシャフト（回転軸）の外周側に設けた円筒状の永久磁石の外周側に被嵌される。保護管により、高回転時に大きな遠心力が作用する永久磁石の損壊が防止される。しかし、回転数をさらに増加させる場合、CFRPからなる保護管では、機械的特性が必ずしも十分ではない。

10

【0007】

特許文献3には、チタン基複合材からなる非磁性部材が提案されている。そのチタン基複合材は、Ti-6%Al-4%V等からなるマトリックス中に、Cの一部が欠損したTiC_y（0 < y < 1）からなる強化粒子を分散させてなる。この非磁性部材は、高比抵抗、高強度および高剛性である。

【0008】

ちなみに、特許文献4～8にもチタン合金またはチタン基複合材に関する記載があるが、電磁用部材やその比抵抗等に関する具体的な記載はない。

20

【0009】

本発明はこのような事情に鑑みて為されたものであり、従来と異なるチタン合金を用いた非磁性部材等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者はこの課題を解決すべく鋭意研究した結果、従来とは異なる組成からなり、高比抵抗および高強度を発現するチタン合金を得ることに成功した。この成果を発展させることにより、以降に述べる本発明を完成するに至った。

【0011】

《非磁性部材》

(1) 本発明は、交番磁界中で用いられる非磁性部材であって、合金全体に対する質量割合で、Al当量が5.5～11となる相安定化元素と、Mo当量が6～17となる相安定化元素とを含むチタン合金を備え、該相安定化元素にはFeおよびMnが含まれる非磁性部材である。

30

【0012】

(2) 本発明の非磁性部材（電磁用部材）は、高比抵抗と高強度を発現するチタン合金を備える。このため、高周波数（例えば高回転数）域の交番磁界中で使用されるときでも、非磁性部材に発生する渦電流損の低減が図られる。また、高速運動（回転、往復動等）により大きな力（遠心力、慣性力等）が作用し得るときでも、非磁性部材の薄肉化、軽量化、小型化等が可能となる。

40

【0013】

なお、本発明に係るチタン合金が高比抵抗および高強度を発現する理由は必ずしも定かではない。現状、高Al当量の相安定化元素と高Mo当量の相安定化元素とが相乗的に作用して、比抵抗と強度を高次元で両立するチタン合金が得られたと考えられる。特に、磁性元素であるFeがTiに固溶することにより、非磁性なチタン合金の比抵抗を向上させていると考えられる。また、Al当量とMo当量が所定範囲内であることを前提に、Mnが含まれることによって、チタン合金の強度が顕著に向上したと考えられる。

【0014】

《製造方法》

50

本発明は、上述した非磁性部材やチタン合金の製造方法としても把握できる。例えば、チタン合金が焼結材からなる場合、非磁性部材は、粉末から焼結体を得る焼結工程と、該焼結体を該非磁性部材に応じた所望形状にする加工工程とから得られる。また、その焼結材からなるチタン合金は、必ずしも、加工工程後に特段の熱処理（例えば溶体化処理や時効処理）が施されなくても、優れた高比抵抗や高強度を発現し得る。勿論、本発明に係るチタン合金は、焼結材に限らず、溶製材でもよい。

【0015】

《その他》

(1) 本明細書でいう 相安定化元素は、純チタンの同素変態温度（約885）を上昇させ、相域を拡大させる合金元素である。相安定化元素は、その同素変態温度を下降させ、相域を拡大させる合金元素である。換言すると、相安定化元素は、Al当量の算出式に現れる元素であり、相安定化元素はMo当量の算出式に現れる元素である。同素変態温度または当量に影響する合金元素である限り、一般的に中性的元素（全率固溶型元素）とされる合金元素（Sn、Zr等）でも、本明細書では相安定化元素または相安定化元素として扱う。勿論、本発明に係るチタン合金は、同素変態温度または当量に影響しない中性的元素（同素変態温度に影響しない合金元素）をさらに含んでもよい。

10

【0016】

本明細書でいう「非磁性」（透磁率）の程度は、電磁機器の磁気回路を短絡させない範囲であればよい。なお、本明細書では、非磁性なチタン合金を有すると共に交番磁界中で使用される電磁用部材を、非磁性部材と呼称している。非磁性部材は、その全体がチタン合金でなくてもよいし、その全体が必ずしも非磁性でなくてもよい。要するに本発明の非磁性部材は、少なくとも一部の部位がチタン合金からなればよい。

20

【0017】

(2) 特に断らない限り本明細書でいう「 $x \sim y$ 」は下限値 x および上限値 y を含む。本明細書に記載した種々の数値または数値範囲に含まれる任意の数値を新たな下限値または上限値として「 $a \sim b$ 」のような範囲を新設し得る。また本明細書でいう「 $x \sim y \mu m$ 」は $x \mu m \sim y \mu m$ を意味する。他の単位系（MPa、GPa等）についても同様である。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1A】試料2のチタン合金の組織写真（SEM像）である。

【図1B】その組織を拡大した写真（SEM像）である。

【図2】試料3のチタン合金の組織写真（SEM像）である。

【図3】比抵抗の測定方法を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

上述した本発明の構成要素に、本明細書中から任意に選択した一つまたは二つ以上の構成要素を付加し得る。本明細書で説明する内容は、非磁性部材のみならず、その製造方法等にも該当する。また方法的な構成要素でも物に関する構成要素ともなり得る。いずれの実施形態が最良であるか否かは、対象、要求性能等によって異なる。

40

【0020】

《チタン合金》

(1) 組成

チタン合金は、Al当量が5.5～11、6～10、7～9.5さらには8～9（さらには未満）となる相安定化元素と、Mo当量が6～17、6.5～15、7～12さらには8～11.5となる相安定化元素とを含むとよい。Al当量が過小では比抵抗が不十分となり、それが過大では伸びが小さくなる。Mo当量が過小では強度が不十分となり、それが過大では伸びが小さくなる。

【0021】

ここで、Al当量（[Al] eq）とMo当量（[Mo] eq）は次のように算出される（出

50

典：軽金属 第55巻 第2号(2005)、PP.97~102)。

$$[Al]_{eq} = [Al] + [Zr]/6 + [Sn]/3 + 10[O] + 16.4[N] + 11.7[C]$$

$$[Mo]_{eq} = [Mo] + [Ta]/5 + [Nb]/3.5 + [W]/2.5 + [V]/1.5 + 1.25[Cr]$$

$$+ 1.25[Ni] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe]$$

ただし、本発明では、特に断らない限り、Al当量を相安定化元素の主要元素であるAl、Zr、およびSnに基づいて規定する($[Al]_{eq} = [Al] + [Zr]/6 + [Sn]/3$)。

【0022】

本明細書でいう組成割合(濃度)は、特に断らない限り、質量割合(質量%)であり、単に「%」で示す。上述の算出式中に示す[]は、チタン合金全体に対する各合金元素の質量割合(%)を示す。なお、チタン合金(マトリックス)中に、強化粒子(例えば、TiC、TiB等)が含まれるチタン基複合材の場合、そのマトリックス全体に対する質量割合として、Al当量およびMo当量を算出する。

10

【0023】

相安定化元素は、例えば、Alの他、Zr、Sn(中性的元素)等でもよい。代表的なAlなら、例えば、チタン合金全体(100質量%)に対して7~10%さらには8~9%含まれてもよい。

【0024】

相安定化元素は、例えば、Mo、V、Mn、Fe等である。代表的なMoなら、例えば、チタン合金全体に対して1~5%さらには1.5~4%、Vなら4~8%さらには5~7%含まれてもよい。

20

【0025】

またチタン合金全体に対して、比抵抗の向上に寄与するFeが0.5~3.5%、0.9~3%さらには1~2.5%、強度の向上に寄与するMnが0.2~3%、0.4~2.5%さらには0.5~1.5%含まれてもよい。

【0026】

さらに、チタン合金全体に対して、被削性の向上等に寄与するSが0.1~1%、0.2~0.7%さらには0.3~0.5%含まれてもよい。なお、Sは必須ではないが、Sが含まれると被削性の向上が望める。但し、Sが過多ではチタン合金が脆化し得る。

【0027】

チタン合金には、技術的・経済的に除去困難または不可避な不純物(例えば、O、N等)が含まれる。例えば、Oは、チタン合金全体に対して、0.1~0.7%さらには0.2~0.5%程度含まれてもよい。

30

【0028】

(2) 組織

チタン合金の金属組織(単に「組織」という。)は、製造過程や熱処理の影響を受けて変化し得る。組織は、例えば、溶製材か焼結材によっても異なるし、焼結材でも熱処理の有無やその熱処理条件によっても異なる。もっとも本発明に係るチタン合金は、Al当量とMo当量が共に十分大きいため、具体的な形態は別にして、相と相が混在した金属組織になり易い。

40

【0029】

一例として、焼結材からなるチタン合金では、体心立方格子構造(body centered cubic lattice)の組織(「bcc組織」という。)中に、六方最密格子構造(hexagonal close-packed lattice)の組織(「hcp組織」という。)が島状に分布した複合組織が得られる(図1A参照)。bcc組織は主に相からなり、hcp組織は主に相からなる。より具体的にいうと、bcc組織は、基元素であるTiと、相安定化元素(Mo、Fe、V等)の一種以上から主になる。hcp組織は、基元素であるTiと、相安定化元素(Al等)の一種以上から主になる。なお、bcc組織に相安定化元素の一種以上が含まれてもよい。同様に、hcp組織に相安定化元素の一種以上が含まれてもよい。

【0030】

50

h c p組織は、例えば、複合組織全体に対して30～70体積%、37～67体積%さらには43～60体積%を占める。ちなみに、そのh c p組織は、例えば、針状または粒状の超微細組織の集合体となっている。各超微細組織は、例えば、最大長が2 μ m以下さらには1 μ m以下、アスペクト比(最大長/最小長)が3～20さらには5～10である。なお、各組織(相)の体積割合、サイズ、アスペクト比は、二次元の光学顕微鏡写真(像)を解析ソフト: Image J (オープンソースプログラム)で分析(計算)して求まる。

【0031】

上述の複合組織は、従来のチタン合金に観られない組織である。但し、チタン合金の組織とチタン合金の特性(比抵抗や強度等)との相関は、現状、明らかではない。

10

【0032】

(3) 特性

チタン合金は、電氣的または機械的に優れた特性を発揮する。例えば、2～5 μ m、2.1 μ m～4 μ mさらには2.2 μ m～3 μ mという比抵抗を発揮する。このような比抵抗は、純Tiの比抵抗(0.4 μ m程度)や代表的なチタン合金(Ti-6%Al-4%V)の比抵抗(1.7 μ m程度)と比較して遙かに大きい。なお、本明細書でいう比抵抗値は、特に断らない限り、所定サイズの試料(バルク材)について、直流四端子法で測定して求まる(図3参照)。

【0033】

チタン合金は、例えば、引張強度(破断強度)で1200～1700 MPa、1250～1650 MPaさらには1350～1550 MPa、0.2%耐力で1150～1600 MPaさらには1200～1500 MPaという高強度を発揮し得る。またチタン合金は、例えば、ヤング率で115～135 GPaさらには120～130 GPaという高剛性も発揮し得る。

20

【0034】

さらにチタン合金は、例えば、伸びが0.2～2%さらには0.4～1.5%程度あり、非磁性部材へ塑性加工も可能である。

【0035】

《製造方法》

チタン合金(非磁性部材)は、例えば、焼結法、溶製法、(粉末)積層造形法(いわゆる3Dプリンター)等により製造され得る。その一例として、焼結法でチタン合金を製造する場合について、以下に説明する。

30

【0036】

焼結法は、粉末の成形体を加熱して焼結体を得る方法である。成形体または焼結体が非磁性部材の形態に近いと(つまりニアネットシェイプであると)、後加工を削減できる。勿論、焼結体に対して、冷間状態または熱間状態で、鍛造やプレス等の塑性加工がなされてもよい。

【0037】

(1) 粉末

通常、複数種の原料粉末を配合(秤量)した混合粉末を用いて成形、焼結がなされる。原料粉末には、単体粉末の他、合金粉末、化合物粉末等が用いられる。単体粉末として、例えば、Ti源粉末(純Ti粉末)がある。合金粉末として、例えば、Al-V粉末、Ti-Al粉末、Fe-Mo粉末(フェロモリブデン粉末)等がある。化合物粉末として、例えば、Mn-S粉末(硫化マンガン粉末)、Fe-Mn粉末(フェロマンガン粉末)等がある。なお、合金元素が同じ同種の粉末でも、その組成割合は様々である。所望の配合組成に応じて、適当な原料粉末が選択されればよい。いずれにしても、単体粉末よりも合金粉末や化合物粉末を用いることで、原料コストの低減、組織の均一化や安定化等が図られる。

40

【0038】

各粉末の平均粒径(メジアン径: D50)は、例えば、1～20 μ mさらには3～15

50

μmであるとよい。混合粉末の調製は、V型混合機、ボールミル、振動ミル等を用いてなされる（混合工程）。

【0039】

(2) 成形工程

混合粉末は、金型成形、CIP（Cold Isostatic Pressing / 冷間等方圧加工法）成形、RIP（Rubber Isostatic Pressing / ゴム等方圧加工法）成形等されて、所望形状の成形体となる。成形体の形状は、最終的な部材（非磁性部材）に近い形状でもよいし、焼結工程後に加工を施すときはピレット状（中間素材形状）等でもよい。成形圧力は適宜調整され得るが、例えば、200～600MPaさらには300～400MPaとするとよい。

10

【0040】

(3) 焼結工程

成形体は、真空中や不活性ガス中で加熱することにより、焼結体となる。焼結温度は、例えば、1150～1400さらには1200～1350とするとよい。焼結時間は、例えば、3～25時間さらには10～20時間とするとよい。適切な焼結温度と焼結時間により、高特質なチタン合金を効率的に得ることができる。なお、HIP（Hot Isostatic Pressing / 熱間等方圧加工法）成形により、上述した成形工程と焼結工程が同時になされてもよい。

【0041】

(4) 冷却工程

焼結工程後の冷却は、例えば、0.1～10/sで、炉冷や強制冷却（不活性ガスの導入等）されるとよい。冷却速度の制御により、チタン合金の組織や特性が調整されてもよい。

20

【0042】

(5) 加工工程

焼結体は、そのまま非磁性部材とされてもよいし、塑性加工、切削加工等されて非磁性部材とされてもよい。塑性加工は、冷間加工でも熱間加工でもよい。熱間加工によれば、割れ等を抑止して、歩留まりよく非磁性部材を得ることができる。熱間加工後の冷却は、炉冷でもよいが、空冷でも十分である。

【0043】

なお、本発明に係るチタン合金は、溶体化処理や時効処理等の熱処理を施すまでもなく、所望の組織や特性を発現し得る。このような非熱処理型チタン合金は、非磁性部材の製造コストの低減に寄与する。

30

【0044】

《非磁性部材 / 電動装置》

本発明の非磁性部材は、高比抵抗、高強度、低透磁率であるため、交番磁界中で使用される電磁用部材として好適である。その具体的な用途を問わないが、例えば、電動機（電磁機器、電動装置）に組み込まれる永久磁石（界磁源）の保護部材（保護管、保護ケース）等に用いることができる（既述した特開2020-43746号公報参照）。なお、そのような電動機の一例として、高回転を要求される遠心式の圧縮機がある。このような圧縮機は、例えば、エンジンの過給器や燃料電池のエアコンプレッサに用いられる。

40

【実施例】

【0045】

成分組成が異なる種々の試料（焼結チタン合金）を製作し、それらの電気的特性（比抵抗）と機械的特性（引張強度、0.2%耐力、ヤング率、伸び）を評価した。このような具体例を挙げつつ、以下に本発明をさらに詳しく説明する。

【0046】

《試料の製作》

(1) 原料粉末

Ti粉末には、市販の水素化脱水素粉末（トーホーテック株式会社製）を篩い（#35

50

0, 平均粒径 75 μm) で分級したものをを用いた。

【0047】

合金元素源となる合金粉末には、以下の粉末の一種または複数種を用いた。

- (a) Al - 40% V 粉末 (平均粒径: 9 μm / キンセイマテック株式会社製)
- (b) Ti - 36% Al 粉末 (平均粒径: 9 μm / 大同特殊鋼株式会社製)
- (c) Fe - 60% Mo 粉末 (平均粒径: 45 μm / 太陽鋳工株式会社製)
- (d) Mn S 粉末 (平均粒径: 9 μm / 福田金属株式会社製)
- (e) Fe - 78% Mn 粉末 (平均粒径: 10 μm / 福田金属株式会社製)

【0048】

本実施例で示す組成は、特に断らない限り、各原料粉末または混合粉末の全体に対する質量割合 (質量%) であり、単に「%」で示す。各粉末の平均粒径はレーザ回折・散乱式粒度分布測定装置 (MT3300EX / 日機装株式会社製) で求めた。なお、各粉末には、粒子表面に不可避に吸着または結合した酸素 (不純物) が僅かに含まれ得る。

10

【0049】

(2) 混合工程

表1 (試料C4・C5を除く。) に示す全体組成 (Al当量、Mo当量) となるように、各原料粉末を秤量して配合した。各配合粉末をV型混合器で1時間混合して、各試料毎の混合粉末を得た。

【0050】

(3) 成形工程

各混合粉末を塩化ビニールチューブ (PVC) に入れてCIP成形して、丸棒状の成形体 (16mm × 150mm程度) を得た。このときの成形圧力は4 t / cm² (392 MPa) とした。

20

【0051】

(4) 焼結工程

各成形体を真空中 (1 × 10⁻⁵ torr) で加熱 (1300 × 16時間) して焼結させた。焼結温度に至るまでの昇温速度: 約5 / min、焼結時間経過後の冷却速度: 10 / s とした。

【0052】

(5) 加工工程

さらに、各試料に係る焼結体を大気雰囲気中で熱間加工 (鍛造) した。加熱温度: 1200、加工率: 56% とした。ここでいう加工率は断面減少率 (Aw / Ao) で算出した。Awは加工後の断面積、Aoは加工前の断面積である。

30

【0053】

なお、熱間加工後の焼結体 (加工品) は大気雰囲気中で空冷して降温させ、その空冷後に熱処理は一切行わなかった。こうして得られた各供試材 (ピレット) を用いて、種々の測定・観察を行った。

【0054】

(6) 溶製材 (比較例)

表1に示す試料C4と試料C5には、市販の溶製材 (大同特殊鋼株式会社製) をそのまま供試材とした。

40

【0055】

《測定》

(1) 電気的特性 (比抵抗)

各試料の比抵抗は、図3に示すようにして求めた。具体的にいうと、まず、各供試材から製作した角柱体 (3.014mm (t) × 3.014mm (w) × 20mm) に、次のようにして電極を形成した。各角柱体の中央部分 (電圧電極間 (L): 10mm) をマスキングテープでマスクする。マスクした両端部分とさらにその両外側部分との4箇所 (図3参照) に、端子線 (銀線: 0.20mm) を巻き付ける。各端子線を巻き付けた部分と、角柱体の両端面とに銀ペースト (藤倉化成株式会社製 ドータイト D-550) をそ

50

れぞれ塗布する。塗布後の角柱体を、大気中で100 × 12時間加熱して乾燥させる。こうして、電流電極と電圧電極を備えた試験片を用意した。

【0056】

各試験片について室温域で直流四端子法により測定された電圧値(V)および電流値(I)と、試験片(角柱体)の断面形状($S = t \times w$)とにより、各試料に係る比抵抗(電気抵抗率)を算出した(図3の式(1)参照)。こうして得られた各試料に係る比抵抗(測定値)を表1に併せて示した。

【0057】

(2) 機械的特性(ヤング率、引張強度、伸び)

供試材から製作した丸棒引張試験片(平行部径: 2.4 mm、ゲージ長さ: 14 mm)を用いて、オートグラフ(株式会社島津製作所製 AUTOGRAPH AG-150 kN)により引張試験を行った。

【0058】

引張試験は、室温大気中で、ひずみ速度: $5 \times 10^{-4} / s$ として行った。この引張試験でロードセルとビデオ伸び計から得られた荷重-ストローク線図から算出された応力-ひずみ関係に基づいて、各試料に係る各機械的特性を求めた(JIS Z 2241:2011参照)。それらの結果を表1に併せて示した。なお、引張強度は、破断時の荷重と試験片の初期形状とに基づいて算出した。伸びは、破断時における試験片のひずみである。

【0059】

《観察》

(1) 引張試験前の供試材の組織をSEM(Scanning Electron Microscope)で観察した。その一例として、試料2に係る観察像(SEM像)を図1A、図1Bに示した。また、試料3に係るSEM像を図2に示した。なお、図1Bと図2はいずれも、拡大した島状組織を表している。

【0060】

(2) 引張試験前の組織を観察したSEM像をImageJで画像解析して、各試料について島状組織の存在割合を求めた。その結果を表1に併せて示した。

【0061】

(3) X線回折

引張試験前の組織をX線回折解析(XRD/Cu-K)した。その結果、島状組織は六方最密格子構造のhcp組織であり、それを包囲するベース組織は体心立方格子構造のbcc組織であることがわかった。

【0062】

《評価》

(1) 特性

表1から明らかなように、Al当量およびMo当量が共に所定範囲にあると共に、FeおよびMnを含む試料1~5のチタン合金は、高比抵抗かつ高強度であった。

【0063】

また試料5のように、Sを含まないチタン合金は、熱処理を施さなくても、高比抵抗であると共に、高強度かつ高延性であった。具体的にいうと、そのチタン合金は、引張強度: 1600 MPa以上、伸び: 1%以上を発現し、一般的に背反関係にある強度と伸びをより高次元で両立していた。

【0064】

一方、Mo当量が小さい試料C1、C2は、強度が不十分であった。また、Al当量が小さい試料C4、C5は、少なくとも比抵抗が不十分であった。さらに試料C3は、Al当量およびMo当量が所定範囲内にあり高比抵抗であったが、Mnを含まないため強度(特に0.2%耐力)が不十分であった。

【0065】

(2) 組織

図1Aおよび表1から明らかなように、試料1~5は、多くの島状のhcp組織(単に

10

20

30

40

50

「島状組織」という。)がbcc組織で囲繞された複合組織となっていることがわかった。また図1Bおよび図2からわかるように、島状組織は、針状または繊維状の(超)微細組織の集合体からなることもわかった。各微細組織は、最大長が2 μ m以下、アスペクト比が5以上であることもSEM像からわかった。

【0066】

なお、試料1~4のチタン合金はいずれも、試料C1~C5のチタン合金よりも被削性に優れることを実加工により確認した。

【0067】

以上のことから、Al当量およびMo当量が共に所定範囲にあると共に、FeおよびMnを含むチタン合金は、高比抵抗かつ高強度であり、非磁性な電磁用部材(非磁性部材)に適していることがわかった。このようなチタン合金は微細な組織が集合したhcp組織(島状組織)がbcc組織中に分散した特異な組織となることもわかった。

【0068】

10

20

30

40

50

【表 1】

試料 No.	原料粉末の配合										チタン合金の特性				島状組織 の割合 (体積%)	備考
	全体組成 (質量% / 残部Ti)						Al 当量	Mo 当量	電気的特性			機械的特性				
	Al	V	Fe	Mo	Mn	S			比抵抗 ($\mu\Omega\text{m}$)	ヤング率 (GPa)	引張強度 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)			
	8.6	5.7	1.2	1.8	0.63	0.37	8.6	9.7						2.4		
1	8.6	5.7	1.2	1.8	0.63	0.37	8.6	9.7	2.4	121	1400	1388	1	55		
2	8.6	5.7	1.6	2.4	0.63	0.37	8.6	11.2	2.4	118	1496	1490	0.5	50		
3	8	—	2	3	0.63	0.37	8	9	2.4	127	1296	1291	0.5	45		
4	8.6	5.7	0.8	1.2	0.63	0.37	8.6	8	2.4	119	1365	1287	1	40		
5	6.5	—	2.86	3.3	2.34	—	6.5	14.7	2.4	113	1623	1520	1	65		
C1	6	4	—	—	—	—	6	2.7	1.7	117	1050	995	7	0		
C2	9	6	—	—	—	—	9	4	2.0	118	1110	1010	0.1	0		
C3	6	—	1.2	1.8	—	—	6	4.8	2.3	122	1165	1003	6	0		
C4	4.5	3	2	2	—	—	4.5	9	1.2	115	1200	950	10	0	市販の 溶製材	
C5	5	—	2	3	—	—	5	8	1.2	120	1400	1050	8	0		

10

20

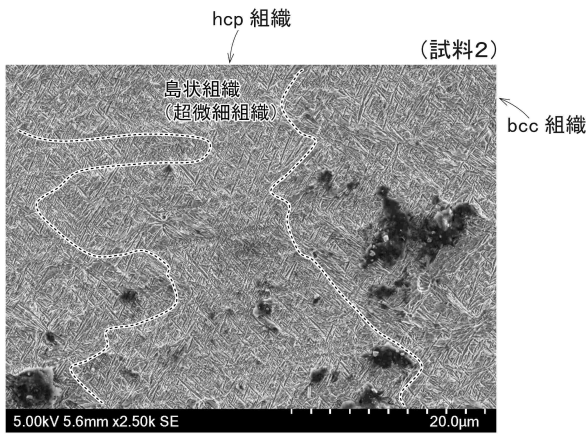
30

40

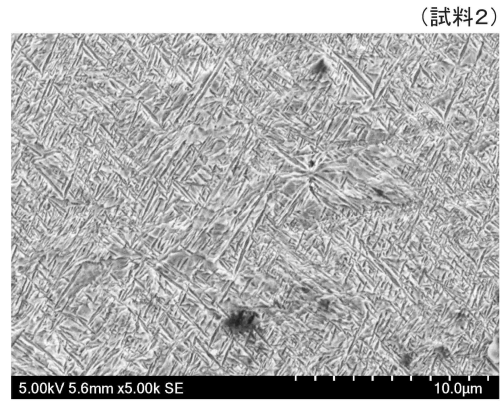
50

【図面】

【図 1 A】

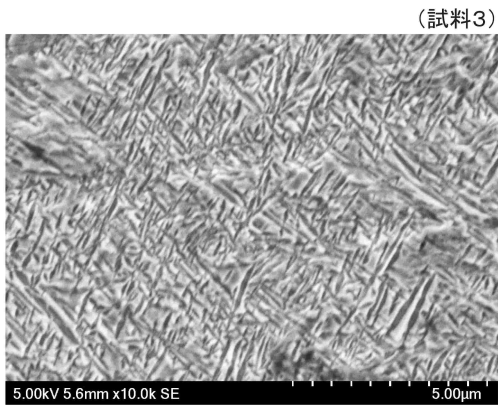


【図 1 B】



10

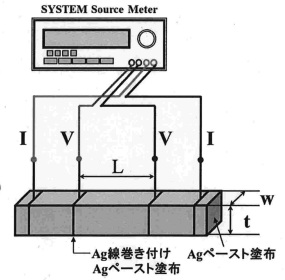
【図 2】



【図 3】

$$\rho_v = \frac{V}{I} \times \frac{S}{L} \dots (1)$$

ρ_v : 体積抵抗率($\Omega \cdot \text{cm}$)
 V: 端子間電圧 (V), I: 電流(A)
 S/L: 電極定数
 S: 試料の断面積 (cm^2)*, L: 電圧端子間距離 (cm)
 ※ $S=w \times t$
 w: 試料の幅(cm), t: 試料の厚み(cm)



20

30

40

50

フロントページの続き

- 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内
(72)発明者 林 秀高
- 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内
(72)発明者 三岡 哲也
- 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内
審査官 山本 佳
- (56)参考文献 特開2020-043746(JP,A)
特開平05-009629(JP,A)
特開2006-070362(JP,A)
特開2022-093067(JP,A)
特開2005-076098(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 14/00
C22C 1/04
H02K 1/27