

(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  
2014年10月2日(02.10.2014)



(10) 国際公開番号  
WO 2014/155820 A1

- (51) 国際特許分類:  
*C22C 21/00* (2006.01) *H01B 7/00* (2006.01)  
*C22F 1/04* (2006.01) *H01B 13/00* (2006.01)  
*H01B 1/02* (2006.01) *C22F 1/00* (2006.01)  
*H01B 5/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/080958
- (22) 国際出願日: 2013年11月15日(15.11.2013)
- (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 2013-075402 2013年3月29日(29.03.2013) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP). 古河 A S 株式会社 (FURUKAWA AUTOMOTIVE SYSTEMS INC.) [JP/JP]; 〒5220242 滋賀県犬上郡甲良町尼子1000番地 Shiga (JP).
- (72) 発明者: 吉田 祥(YOSHIDA Sho); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 関谷 茂樹(SEKIYA Shigeki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 須齋 京太(SUSAI Kyota); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 水戸瀬 賢悟(MITOSE Kengo); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 上島 類(UESHIMA Rui); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番2号 新丸の内センタービルディング ゾンデルホフ&アインゼル法律特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
 — 国際調査報告 (条約第21条(3))  
 — 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第19条(1))

(54) Title: ALUMINUM ALLOY CONDUCTOR, ALUMINUM ALLOY STRANDED WIRE, SHEATHED WIRE, WIRE HARNESS, AND METHOD FOR MANUFACTURING ALUMINUM ALLOY CONDUCTOR

(54) 発明の名称: アルミニウム合金導体、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネスおよびアルミニウム合金導体の製造方法

(57) Abstract: Provided is an aluminum alloy conductor having high conductivity and flexural fatigue resistance, while also having high shock absorption and extensibility. This aluminum alloy conductor comprises 0.10-1.00% of Mg, 0.10-1.00% of Si, 0.01-1.40% of Fe, 0.000-0.100% of Ti, 0.000-0.030% of B, 0.00-1.0% of Cu, 0.00-0.50% of Ag, 0.00-0.50% of Au, 0.00-1.0% of Mn, 0.00-1.00% of Cr, 0.00-0.50% of Zr, 0.00-0.5% of Hf, 0.00-0.5% of V, 0.00-0.50% of Sc, and 0.00-0.10% of Ni (percentage amounts being based on mass), the remainder comprising Al and inevitable impurities; wherein compound particles measuring 20-1000 nm in size are distributed in a density of at least 1/μm<sup>2</sup>.

(57) 要約: 高導電率、高い耐屈曲疲労特性を有し、更には高い衝撃吸収性、高い伸び性を同時に実現するアルミニウム合金導体を提供する。本発明のアルミニウム合金導体は、Mg: 0.10~1.00質量%、Si: 0.10~1.00質量%、Fe: 0.01~1.40質量%、Ti: 0.000~0.100質量%、B: 0.000~0.030質量%、Cu: 0.00~1.0質量%、Ag: 0.00~0.50質量%、Au: 0.00~0.50質量%、Mn: 0.00~1.0質量%、Cr: 0.00~1.00質量%、Zr: 0.00~0.50質量%、Hf: 0.00~0.5質量%、V: 0.00~0.5質量%、Sc: 0.00~0.50質量%、Ni: 0.00~0.10質量%、残部: Alおよび不可避免不純物であるアルミニウム合金導体であって、粒径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/μm<sup>2</sup>以上である。



WO 2014/155820 A1

## 明 細 書

発明の名称：

アルミニウム合金導体、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネスおよびアルミニウム合金導体の製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、電気配線体の導体として用いられるアルミニウム合金導体に関する。特に、極細線でありながらも、高導電率、高い耐屈曲疲労特性、更には高い伸び性を実現するアルミニウム合金導体に関するものである。

### 背景技術

[0002] 従来、自動車、電車、航空機等の移動体の電気配線体、または産業用ロボットの電気配線体として、銅又は銅合金の導体を含む電線に銅又は銅合金（例えば、黄銅）製の端子（コネクタ）を装着した、いわゆるワイヤーハーネスと呼ばれる部材が用いられてきた。昨今では、自動車の高性能化や高機能化が急速に進められており、これに伴い、車載される各種の電気機器、制御機器などの配設数が増加すると共に、これらの機器に使用される電気配線体の配設数も増加する傾向にある。また、その一方で、環境対応のために自動車等の移動体の燃費を向上するため、軽量化が強く望まれている。

[0003] こうした近年の移動体の軽量化を達成するための手段の一つとして、例えば、電気配線体の導体を、従来から用いられている銅又は銅合金より軽量のアルミニウム又はアルミニウム合金に変更する検討が進められている。アルミニウムの比重は銅の比重の約  $1/3$ 、アルミニウムの導電率は銅の導電率の約  $2/3$ （純銅を  $100\%$  IACS の基準とした場合、純アルミニウムは約  $66\%$  IACS）であり、純アルミニウムの導体線材に純銅の導体線材と同じ電流を流すためには、純アルミニウムの導体線材の断面積を、純銅の導体線材の約  $1.5$  倍と大きくする必要があるが、そのように断面積を大きくしたアルミニウムの導体線材を用いたとしても、アルミニウムの導体線材の質量は、純銅の導体線材の質量の半分程度であることから、アルミニウムの

導体線材を使用することは、軽量化の観点から有利である。なお、上記の% IACSとは、万国標準軟銅（International Annealed Copper Standard）の抵抗率 $1.7241 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$ を100% IACSとした場合の導電率を表したものである。

[0004] しかし、送電線用アルミニウム合金導体（JIS規格によるA1060やA1070）を代表とする純アルミニウムでは、一般に引張耐久性、耐衝撃性、屈曲特性などが劣ることが知られている。そのため、例えば、車体への取付け作業時に作業人や産業機器などによって不意に負荷される荷重や、電線と端子の接続部における圧着部での引張や、ドア部などの屈曲部で負荷される繰り返し応力などに耐えることができない。また、種々の添加元素を加えて合金化した材料は引張強度を高めることは可能であるものの、アルミニウム中への添加元素の固溶現象により導電率の低下を招くこと、アルミニウム中に過剰な金属間化合物を形成することで伸線加工中に金属間化合物に起因する断線が生じることがあった。そのため、添加元素を限定ないし選択することにより、十分な伸び特性を有することで断線しないことを必須とし、さらに、従来レベルの導電率と引張強度を確保しつつ、耐衝撃性、屈曲特性を向上する必要があることがあった。

[0005] 移動体の電気配線体に用いられるアルミニウム導体として代表的なものの特許文献1に記載のものがある。これは極細線であって、高強度・高導電率を有しながら、伸びにも優れるアルミニウム合金導体、及びアルミニウム合金撚線を実現するものである。また、この特許文献1には、十分な伸びを有することから、優れた屈曲特性を有する旨が記載されている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2012-229485公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献1のアルミニウム合金導体では、例えばドア部などに取り付けられるワイヤーハーネスとして使用する場合、ドアの開閉により繰り返し曲げ応力が作用することで疲労破壊が発生しやすく、このような厳しい使用環境下での耐屈曲疲労特性が十分とは言えない。さらに、エンジン部分、例えば最も振動が大きいと言われるディーゼルエンジンなどに取り付けられることを想定すると、常時生じるエンジン振動に耐久可能な、より高い耐屈曲疲労特性が求められる。

[0008] 本発明の目的は、高導電率を確保すると共に、高い耐屈曲疲労特性、高い衝撃吸収性および高い伸び性を同時に実現するアルミニウム合金導体、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネスを提供すること、およびアルミニウム合金導体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

[0009] 本発明者らは、アルミニウム合金導体の結晶粒径にばらつきがあると、結晶粒径の大きな部分の強度が低く、変形し易いことから、アルミニウム合金導体全体での伸び性が低下することを発見した。また、結晶粒径が大きい場合、結晶粒径が小さい場合と比較して塑性歪みの蓄積量も多くなり、屈曲疲労特性が低下することを発見した。そこで、本発明者らは、アルミニウム合金内に化合物粒子を介在させることで結晶粒成長を抑制できることに着目し、鋭意研究を行った結果、アルミニウム合金導体に化合物粒子を均一に分散させることで、適切な大きさの結晶粒を一様に形成し、これにより高導電性を確保しつつ、高い耐屈曲疲労特性、高い衝撃吸収性、更には高い伸び性を実現できることを見出し、本発明を完成させるに至った。

[0010] すなわち、上記課題は以下の発明により達成される。

[0011] (1) Mg : 0.10~1.00質量%、Si : 0.10~1.00質量%、Fe : 0.01~1.40質量%、Ti : 0.000~0.100質量%、B : 0.000~0.030質量%、Cu : 0.00~1.00質量%、Ag : 0.00~0.50質量%、Au : 0.00~0.50質量%、Mn : 0.00~1.0質量%、Cr : 0.00~1.00質量%、Zr : 0

、0.00～0.50質量%、Hf：0.00～0.50質量%、V：0.00～0.50質量%、Sc：0.00～0.50質量%、Co：0.00～0.50質量%、Ni：0.00～0.50質量%、残部：Alおよび不可避不純物である組成を有し、粒子径20～1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とするアルミニウム合金導体。

[0012] (2) Ti：0.001～0.100質量%およびB：0.001～0.030質量%からなる群から選択された1種または2種を含有することを特徴とする、上記(1)に記載のアルミニウム合金導体。

(3) Cu：0.01～1.00質量%、Ag：0.01～0.50質量%、Au：0.01～0.50質量%、Mn：0.01～1.00質量%、Cr：0.01～1.00質量%、Zr：0.01～0.50質量%、Hf：0.01～0.50質量%、V：0.01～0.50質量%、Sc：0.01～0.50質量%、Co：0.01～0.50質量%、Ni：0.01～0.50質量%からなる群から選択された1種または2種以上を含有することを特徴とする、上記(1)または(2)に記載のアルミニウム合金導体。

(4) Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、Co、Niの含有量の合計が0.01～2.00質量%である、上記(1)～(3)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体。

(5) 前記アルミニウム合金導体中の前記化合物粒子の分布において、該化合物粒子の最大分散密度が最小分散密度の5倍以下であることを特徴とする、上記(1)～(4)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体。

(6) 屈曲疲労破断回数が10万回以上であり、導電率が45～60% IACSであり、伸びが5～20%であることを特徴とする、上記(1)～(5)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体。

(7) 衝撃吸収エネルギーが200J/cm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする、(1)～(6)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体。

(8) 素線の直径が0.1～0.5mmであるアルミニウム合金線である上記(1)～(6)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体。

(9) 上記(1)～(8)のいずれかに記載のアルミニウム合金線を複数本撚り合わせて構成されることを特徴とする、アルミニウム合金撚線。

(10) 上記(8)に記載のアルミニウム合金導体または上記(9)に記載のアルミニウム合金撚線の外周に被覆層を有する被覆電線。

(11) 上記(10)に記載の被覆電線と、該被覆電線の、前記被覆層を除去した端部に装着された端子とを具備するワイヤーハーネス。

(12) 溶解処理、鋳造処理、熱間または冷間加工処理、第1伸線加工処理、中間熱処理、第2伸線加工処理、溶体化熱処理および時効熱処理を、この順に実行して得られるアルミニウム合金導体の製造方法であって、

前記鋳造処理の冷却速度が、 $5 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ であり、

前記中間熱処理は $300 \sim 480^\circ\text{C}$ の温度範囲で行い、該温度範囲においてアルミニウム合金導体に与えるエネルギーのエネルギー面積が $180 \sim 2500^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ であり、

前記第1伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が $1 \sim 10^\circ$ であり、1パスの加工率が $10 \sim 40\%$ であり、

前記第2伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が $1 \sim 10^\circ$ であり、1パスの加工率が $10 \sim 40\%$ であることを特徴とする、(1)～(8)のいずれかに記載のアルミニウム合金導体の製造方法。

## 発明の効果

[0013] 本発明のアルミニウム合金導体によれば、導電率に優れるため、移動体に搭載されるバッテリーケーブル、ハーネスあるいはモータ用導線として有用である。特に、高い耐屈曲疲労特性を有するので、ドアやトランクなどの高い耐屈曲疲労特性が求められる屈曲部に用いることができる。更に、高い衝撃吸収性を有し、また、伸び性に優れているので、ワイヤーハーネス取り付け時や搭載後の衝撃に耐えることができ、断線や亀裂の発生を低減することができる。また、耐屈曲疲労特性や衝撃吸収性を向上させた、電気配線体の導体として用いられるアルミニウム合金導体、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネスを提供することが可能となる。

## 発明を実施するための形態

[0014] 本発明のアルミニウム合金導体は、Mg : 0.10~1.00質量%、Si : 0.10~1.00質量%、Fe : 0.01~1.40質量%、Ti : 0.000~0.100質量%、B : 0.000~0.030質量%、Cu : 0.00~1.00質量%、Ag : 0.00~0.50質量%、Au : 0.00~0.50質量%、Mn : 0.00~1.00質量%、Cr : 0.00~1.00質量%、Zr : 0.00~0.50質量%、Hf : 0.00~0.50質量%、V : 0.00~0.50質量%、Sc : 0.00~0.50質量%、Co : 0.00~0.50質量%、Ni : 0.00~0.50質量%、残部 : Alおよび不可避不純物である組成を有し、粒径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上である。

[0015] 以下に、本発明のアルミニウム合金導体の化学組成等の限定理由を示す。

### (1) 化学組成

<Mg : 0.10~1.00質量%>

Mg (マグネシウム) は、アルミニウム母材中に固溶して強化する作用を有すると共に、その一部はSiと化合して析出物を形成して引張強度、耐屈曲疲労特性および耐熱性を向上させる作用を有する元素である。しかしながら、Mg含有量が0.1質量%未満だと、上記作用効果が不十分であり、また、Mg含有量が1.0質量%を超えると、結晶粒界にMg濃化部分を形成する可能性が高まり、引張強度、伸び、耐屈曲疲労特性が低下するとともに、Mg元素の固溶量が多くなることによって導電率も低下する。したがって、Mg含有量は0.10~1.00質量%とする。なお、Mg含有量は、高強度を重視する場合には0.50~1.00質量%にすることが好ましく、また、導電率を重視する場合には0.10~0.50質量%とすることが好ましく、このような観点から総合的に0.30~0.70質量%が好ましい。

[0016] <Si : 0.10~1.00質量%>

Si (ケイ素) は、Mgと化合して析出物を形成して引張強度、耐屈曲疲

劣特性、及び耐熱性を向上させる作用を有する元素である。S i含有量が0.10質量%未満だと、上記作用効果が不十分であり、また、S i含有量が1.00質量%を超えると、結晶粒界にS i濃化部分を形成する可能性が高まり、引張強度、伸び、耐屈曲疲労特性が低下するとともに、S i元素の固溶量が多くなることによって導電率も低下する。したがって、S i含有量は0.10~1.00質量%とする。なお、S i含有量は、高強度を重視する場合には0.50~1.00質量%にすることが好ましく、また、導電率を重視する場合には0.10~0.50質量%にすることが好ましく、このような観点から総合的に0.30~0.70質量%が好ましい。

[0017] <F e : 0.01~1.40質量%>

F e (鉄)は、主にA l-F e系の金属間化合物を形成することによって結晶粒の微細化に寄与すると共に、引張強度および耐屈曲疲労特性を向上させる元素である。F eは、A l中に655℃で0.05質量%しか固溶できず、室温では更に少ないため、A l中に固溶できない残りのF eは、A l-F e、A l-F e-S i、A l-F e-S i-M gなどの金属間化合物として晶出又は析出する。この金属間化合物は、結晶粒の微細化に寄与すると共に、引張強度および耐屈曲疲労特性を向上させる。また、F eは、A l中に固溶したF eによっても引張強度を向上させる作用を有する。F e含有量が0.01質量%未満だと、これらの作用効果が不十分であり、また、F e含有量が1.40質量%を超えだと、晶出物または析出物の粗大化により伸線加工性が悪くなり、その結果、目的とする耐屈曲疲労特性が得られなくなる他、導電率も低下する。したがって、F e含有量は0.01~1.40質量%とし、好ましくは0.15~0.90質量%、更に好ましくは0.15~0.45質量%とする。

[0018] 本発明のアルミニウム合金導体は、M g、S iおよびF eを必須の含有成分とするが、必要に応じて、さらに、T iおよびBからなる群から選択された1種または2種や、C u、A g、A u、M n、C r、Z r、H f、V、S cおよびN iの1種または2種以上、を含有させることができる。

[0019] <Ti : 0.001~0.100質量%>

Tiは、溶解鑄造時の鑄塊の組織を微細化する作用を有する元素である。鑄塊の組織が粗大であると、鑄造において鑄塊割れや線材加工工程において断線が発生して工業的に望ましくない。Ti含有量が0.001質量%未満であると、上記作用効果を十分に発揮することができず、また、Ti含有量が0.100質量%を超えたと導電率が低下する傾向があるからである。したがって、Ti含有量は0.001~0.100質量%とし、好ましくは0.005~0.050質量%、より好ましくは0.005~0.030質量%とする。

[0020] <B : 0.001~0.030質量%>

Bは、Tiと同様、溶解鑄造時の鑄塊の組織を微細化する作用を有する元素である。鑄塊の組織が粗大であると、鑄造において鑄塊割れや線材加工工程において断線が発生しやすくなるため工業的に望ましくない。B含有量が0.001質量%未満であると、上記作用効果を十分に発揮することができず、また、B含有量が0.030質量%を超えたと導電率が低下する傾向がある。したがって、B含有量は0.001~0.030質量%とし、好ましくは0.001~0.020質量%、より好ましくは0.001~0.010質量%とする。

[0021] <Cu : 0.01~1.00質量%>、<Ag : 0.01~0.50質量%>、<Au : 0.01~0.50質量%>、<Mn : 0.01~1.00質量%>、<Cr : 0.01~1.00質量%>、<Zr : 0.01~0.50質量%>、<Hf : 0.01~0.5質量%>、<V : 0.01~0.5質量%>、<Sc : 0.01~0.5質量%>、<Co : 0.01~0.50質量%>および<Ni : 0.01~0.50質量%>の1種または2種以上を含有させること

Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiは、いずれも結晶粒を微細化する作用を有する元素であり、さらに、Cu、AgおよびAuは、粒界に析出することで粒界強度を高める作用も有する元

素であって、これらの元素の少なくとも1種を0.01質量%以上含有していれば、上述した作用効果が得られ、引張強度、伸び、耐屈曲疲労特性を向上させることができる。一方、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiの含有量のいずれかが、それぞれ上記の上限値を超えると、導電率が低下する傾向がある。したがって、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiの含有量の範囲は、それぞれ上記の範囲とした。

[0022] また、Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiは、多く含有するほど導電率が低下する傾向と伸線加工性が劣化する傾向がある。従って、これらの元素の含有量の合計は、2.00質量%以下とするのが好ましい。本発明のアルミニウム合金導体ではFeは必須元素であるため、Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiの含有量の合計は0.01~2.00質量%とする。これらの元素の含有量は、0.10~2.00質量%とするのが更に好ましい。

[0023] なお、高導電率を保ちつつ、引張強度や伸び、耐屈曲疲労特性を向上させるには、Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、CoおよびNiの含有量の合計は、0.10~0.80質量%が特に好ましく、0.20~0.60質量%が更に好ましい。一方で、導電率はやや低下するが更に引張強度、伸び、耐屈曲疲労特性を向上させるためには、0.80超~2.00質量%が特に好ましく、1.00~2.00質量%が更に好ましい。

[0024] <残部：Alおよび不可避不純物>

前述した成分以外の残部はAl（アルミニウム）および不可避不純物である。ここでいう不可避不純物は、製造工程上、不可避免的に含まれる含有レベルの不純物を意味する。不可避不純物は、含有量によっては導電率を低下させる要因にもなりうるため、導電率の低下を加味して不可避不純物の含有量のある程度抑制することが好ましい。不可避不純物として挙げられる成分

としては、例えば、Ga、Zn、Bi、Pbなどが挙げられる。

[0025] (2) 粒径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であること

本発明では、粒径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上である。本発明の合金成分の範囲においては、化合物粒子の分散密度に特に上限はない。

[0026] 本発明では、アルミニウム合金導体の金属組織中に化合物粒子がほぼ均一に分散している。本発明における化合物粒子の「均一な分散」とは、次のように定義される。まず、TEMでアルミニウム合金導体の伸線方向に垂直な断面を観察しながら、化合物粒子が所定数(40個)入る正方形を描き、該正方形と同一寸法の正方形を用いて、任意の複数箇所、それぞれの正方形内に含まれる粒子の個数をカウントする。そして、カウントされた化合物粒子の最大値と最小値の比を求め、この比が所定比以下の場合、化合物粒子が均一に分散しているものとする。本発明では、カウントされた化合物粒子の最大値と最小値の比、すなわち、最大分散密度を最小分散密度で割った値が5倍以下である場合、化合物粒子が均一に分散しているものとする。最大値と最小値の比が5倍より多いと、アルミニウム合金の結晶粒にばらつきが生じ、伸び性および耐屈曲疲労特性が低下する。したがって、上記の方法にて算出された化合物粒子の最大値と最小値の比が5倍以下であることとし、好ましくは3倍以下であり、更に好ましくは2倍以下である。

[0027] 本発明の化合物粒子は、例えばAl-Fe系化合物、TiB、Mg<sub>2</sub>Si、Fe-Mn系化合物、Fe-Mn-Cr系化合物などの本発明のアルミニウム合金導体の構成元素を含む化合物であり、結晶粒界の移動を抑制する作用を有する。化合物粒子の粒子径は、20~1000nmであり、好ましくは20~800nm、更に好ましくは30~500nmである。化合物粒子の粒子径が、20nm未満であると、小さすぎるために十分なピンニング効果が得られず、1000nmより大きいと、粒界や転位が化合物粒子内を移動してしまい十分なピンニング効果が得られない。化合物粒子の粒子径は、

例えばTEMを用いて測定される。

[0028] (本発明に係るアルミニウム合金導体の製造方法)

本発明のアルミニウム合金導体は、[1] 溶解処理、[2] 鋳造処理、[3] 熱間または冷間加工処理、[4] 第1伸線加工処理、[5] 中間熱処理、[6] 第2伸線加工処理、[7] 溶体化熱処理、[8] 時効熱処理の各工程を経て製造することができる。なお、溶体化熱処理前後、または時効熱処理後に、撚線とする工程や電線に樹脂被覆を行う工程を設けてもよい。以下、[1]～[8]の工程について説明する。

[0029] [1] 溶解処理

溶解は、後述するアルミニウム合金組成のそれぞれの実施態様の濃度となるような分量で溶製する。

[0030] [2] 鋳造処理、[3] 熱間または冷間加工処理

鋳造軸とベルトを組み合わせたプロペルチ式の連続鋳造圧延機を用いて、溶湯を水冷した鋳型で連続的に鋳造しながら圧延を行い、例えば $\phi 5.0 \sim 13.0$  mmの適宜の太さの棒材とする。このときの鋳造時の冷却速度は、Fe系晶出物の粗大化の防止とFeの強制固溶による導電率低下の防止の観点から、好ましくは $5 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ である。鋳造及び熱間圧延は、ビレット鋳造及び押出法などにより行ってもよい。また、鋳造時の冷却速度が $5 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ であると、その後の工程によって金属組織中に生じる化合物粒子の粒子径が小さくなり、十分なピンニング効果を得ることが可能となる。よって、鋳造時の冷却速度が $5 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ であり、好ましくは $10 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ 、より好ましくは $15 \sim 20^\circ\text{C}/\text{s}$ である。

[0031] [4] 第1伸線加工処理

次いで、表面の皮むきを実施して、例えば $\phi 5.0 \sim 12.5$  mmの適宜の太さの棒材とし、ダイス引きによって伸線加工する。ダイスのダイス半角 $\alpha$ は $1 \sim 10^\circ$ 、1パス当たりの加工率は、10%より大きく40%以下であることが好ましい。ダイス半角が $1^\circ$ より小さいと、ダイス穴におけるベアリング部の長さが長くなり、摩擦抵抗が大きくなる。ダイス半角が $10^\circ$

より大きいと線材表層にひずみが入りやすくなり、その後の熱処理での化合物粒子生成の分布にばらつきが生じ、結晶粒径にもばらつきが生じ、伸び性及び耐屈曲疲労特性が低下する。加工率は、伸線加工前後の断面積の差を元の断面積で割って100を掛けたものである。加工率が10%以下であると、線材表層にひずみが入りやすくなり、その後の熱処理での化合物粒子生成の分布にばらつきが生じ、結晶粒径にもばらつきが生じ、伸び性及び耐屈曲疲労特性が低下する。また、加工率が40%よりも大きいと、伸線加工が困難となり、伸線加工中に断線するなど品質の面で問題を生ずるおそれがある。また、ダイス半角を上記範囲に、加工率を上記範囲にそれぞれ設定すると、化合物粒子の分散性が良くなり（粒子分布が均一になり）、アルミニウム母相の結晶粒の粒径のばらつきを抑制することができる。なお、本第1伸線加工処理では最初に棒材表面の皮むきを行っているが、棒材表面の皮むきを行わなくてもよい。

[0032] [5] 中間熱処理

次に、冷間伸線した被加工材に中間熱処理（中間焼鈍）を施す。本発明の中間熱処理は、被加工材の柔軟性を取り戻し、伸線加工性を高めるため、並びに化合物粒子を生成させるために行うものである。中間焼鈍における加熱温度は300～480℃、加熱時間は、通常0.05～6時間である。加熱温度が300℃より低いと、化合物粒子が成長せず、結晶粒成長の抑制が不十分となり、また、480℃より高いと、加熱時間にも拠るが化合物粒子の粒子径が粗大化してしまう。また、加熱時間が6時間以上であると、化合物粒子の粒子径が粗大化する可能性が高まる他、製造上も不利である。また、本中間焼鈍時のエネルギー面積は、180～2500℃・hである。エネルギー面積が180～2500℃・hであると、化合物粒子が小さくなり、十分なピンニング効果を得ることが可能となる。本発明では、300℃以下では化合物粒子が成長しないことから、エネルギー面積は、被加工材に与える熱（300℃より高い温度）を時間で積分したもの、すなわち被加工材の熱履歴（ヒートパターン）と $t = 300^\circ\text{C}$ の直線とで囲まれた部分の面積をい

う。本中間焼鈍時のエネルギー面積は、好ましくは500~2000°C・hであり、より好ましくは500~1500°C・hである。

[0033] [6] 第2伸線加工処理

さらに、被加工材をダイス引きによって伸線加工する。ダイスのダイス半角は1~10°、1パス当たりの加工率は、10%より大きく40%以下であることが好ましい。ダイス半角が1°より小さいと、ダイス穴におけるベアリング部の長さが長くなり、摩擦抵抗が大きくなる。ダイス半角が10°より大きいと線材表層にひずみが入りやすくなり、その後の熱処理での化合物粒子生成の分布にばらつきが生じ、結晶粒径にもばらつきが生じ、伸び性及び耐屈曲疲労特性が低下する。加工率が10%以下であると、線材表層にひずみが入りやすくなり、その後の熱処理での化合物粒子生成の分布にばらつきが生じ、結晶粒径にもばらつきが生じ、伸び性及び耐屈曲疲労特性が低下する。また、加工率が40%よりも大きいと、伸線加工が困難となり、伸線加工中に断線するなど品質の面で問題を生ずるおそれがある。また、ダイス半角が上記範囲のように小さく、加工率が上記範囲のように大きいと、化合物粒子の粒子分布が均一になり、アルミニウム母相の結晶粒の粒径のばらつきを抑制することができる。

[0034] [7] 溶体化熱処理

次に、被加工材に溶体化熱処理を施す。この溶体化熱処理は、被加工材にランダムに含有されているMg、Si化合物をアルミ母相中に溶解させるために行う。溶体化熱処理における加熱温度は480~620°Cであり、少なくとも150°Cの温度までは11°C/s以上の平均冷却速度で冷却する。溶体化熱処理温度が480°Cより低いと、溶体化が不完全になり後工程の時効熱処理時に析出する針状のMg<sub>2</sub>Si析出物が少なくなり、引張強度、耐屈曲疲労特性、導電率の向上幅が小さくなる。溶体化熱処理が620°Cより高いと、化合物粒子が過度に固溶してしまいアルミニウム母相の結晶粒径が粗大化する問題が発生する可能性があり、また、純アルミに対してアルミ以外の元素が多く含まれているために融点が下がり、部分的に融解してしまう可

能性がある。溶体化熱処理における加熱時の温度は、好ましくは500～600℃、更に好ましくは520～580℃である。

[0035] 高周波加熱や通電加熱を用いた場合、通常は線材に電流を流し続ける構造になっているため、時間の経過と共に線材温度が上昇する。そのため、電流を流し続けると線材が溶融してしまう可能性があるため、適正な時間範囲にて熱処理を行う必要がある。走間加熱を用いた場合においても、短時間の焼鈍であるため、通常、走間焼鈍炉の温度は線材温度より高く設定される。長時間の熱処理では線材が溶融してしまう可能性があるため、適正な時間範囲にて熱処理を行う必要がある。また、すべての熱処理において被加工材にランダムに含有されているMg、Si化合物をアルミ母相中に溶け込ませる所定の時間以上が必要である。以下、各方法による熱処理を説明する。

[0036] 高周波加熱による連続熱処理は、高周波による磁場中を線材が連続的に通過することで、誘導電流によって線材自体から発生するジュール熱により熱処理するものである。急熱、急冷の工程を含み、線材温度と熱処理時間で制御し線材を熱処理することができる。冷却は、急熱後、水中又は窒素ガス雰囲気中に線材を連続的に通過させることによって行う。この熱処理時間は0.01～2s、好ましくは0.05～1s、より好ましくは0.05～0.5sで行う。

[0037] 連続通電熱処理は、2つの電極輪を連続的に通過する線材に電流を流すことによって線材自体から発生するジュール熱により熱処理するものである。急熱、急冷の工程を含み、線材温度と熱処理時間で制御し線材を熱処理することができる。冷却は、急熱後、水中、大気中又は窒素ガス雰囲気中に線材を連続的に通過させることによって行う。この熱処理時間は0.01～2s、好ましくは0.05～1s、より好ましくは0.05～0.5sで行う。

[0038] 連続走間熱処理は、高温に保持した熱処理炉中を線材が連続的に通過して熱処理させるものである。急熱、急冷の工程を含み、熱処理炉内温度と熱処理時間で制御し線材を熱処理することができる。冷却は、急熱後、水中、大気中又は窒素ガス雰囲気中に線材を連続的に通過させることによって行う。

この熱処理時間は0.5～120 s、好ましくは0.5～60 s、より好ましくは0.5～20 sで行う。

[0039] バッチ式熱処理は、焼鈍炉の中に線材を投入し、所定の設定温度、設定時間にて熱処理される方法である。線材自体が所定の温度にて数10秒程度加熱されればよいが、工業使用上、大量の線材を投入することになるため、線材の熱処理ムラを抑制するために30分以上は行った方が好ましい。熱処理時間の上限は、結晶粒が線材の半径方向に数えて5個以上あれば特に制限は無いが、短時間でいった方が結晶粒が線材の半径方向に数えて5個以上になりやすく、工業使用上、生産性も良いため、10時間以内、好ましくは6時間以内にて熱処理される。

[0040] [8] 時効熱処理

そして、被加工材に時効熱処理を施す。時効熱処理は、針状の $Mg_2Si$ 析出物を析出させるために行う。時効熱処理における加熱温度は、140～250℃、加熱時間は、1分～15時間である。時効熱処理ではかかる熱エネルギーが重要であるため、針状の $Mg_2Si$ 析出物を析出させるためには、例えば250℃などの高い側の温度では1分などの短時間での熱処理が好ましい。前記加熱温度が140℃未満であると、針状の $Mg_2Si$ 析出物を十分に析出させることができず、強度、耐屈曲疲労特性および導電率が不足しがちである。また、前記加熱温度が250℃よりも高いと、 $Mg_2Si$ 析出物のサイズが大きくなるため、導電率は上昇するが、強度および耐屈曲疲労特性が不足しがちである。

[0041] (本発明に係るアルミニウム合金導体)

本発明のアルミニウム合金導体は、素線径が、特に制限はなく用途に応じて適宜定めることができるが、細物線の場合は $\phi 0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 、中細物線の場合は $\phi 0.8 \sim 1.5 \text{ mm}$ が好ましい。

[0042] 本アルミニウム合金導体は、粒子径20～1000 nmの化合物粒子の分散密度を1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上とし、金属組織中に化合物粒子を均一に分散させることで、屈曲疲労試験によって測定した破断までの繰返回数が10万回以上

、伸びが5～20%を達成することができる。また、本アルミニウム合金導体は、導電率が45～60% IACSを達成することができる。

[0043] 本発明の衝撃吸収エネルギーは、アルミニウム合金導体がどれほどの衝撃に耐えられるかの指標であり、アルミニウム合金導体が断線する直前の（錘の位置エネルギー）／（アルミニウム合金導体の断面積）で算出される。衝撃吸収エネルギーが大きい程、高い衝撃吸収性を有しているといえる。本アルミニウム合金導体は、衝撃吸収エネルギーが200 J/cm<sup>2</sup>以上を達成することができる。

[0044] 以上、上記実施形態に係るアルミニウム合金導体について述べたが、本発明は記述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術思想に基づいて各種の変形および変更が可能である。

[0045] 例えば、アルミニウム合金導体を複数本撚り合わせて構成されるアルミニウム合金撚線に、本発明のアルミニウム合金導体を適用してもよい。また、上記アルミニウム合金導体またはアルミニウム合金撚線を、その外周に被覆層を有する被覆電線に適用することができる。また、被覆電線とその端部に取り付けられた端子とからなる構造体の複数で構成されるワイヤーハーネス（組電線）に適用することも可能である。

[0046] また、上記実施形態に係るアルミニウム合金導体の製造方法は、記述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術思想に基づいて各種の変形および変更が可能である。

## 実施例

[0047] 本発明を以下の実施例に基づき詳細に説明する。なお本発明は、以下に示す実施例に限定されるものではない。

（実施例1）

Mg、Si、FeおよびAlと、選択的に添加するMn、Ni、TiおよびBを、表1に示す含有量（質量%）になるようにプロペルチ式の連続鋳造圧延機を用いて、溶湯を水冷した鋳型で連続的に鋳造しながら圧延を行い、約9.5mmφの棒材とした。このときの鋳造冷却速度は約15℃/sとし

た。次いで、これを表2に示す1パス加工率にて伸線加工を行った。次に、この伸線加工を施した加工材に、表2に示す条件で中間熱処理（中間焼鈍）を行い、その後、伸線加工を施し $\phi 0.3\text{ mm}$ とした。次いで、その加工材に溶体化処理を施した。なお、溶体化熱処理において、バッチ式熱処理では、線材に熱電対を巻きつけて線材温度を測定した。連続通電熱処理では、線材の温度が最も高くなる部分での測定が設備上困難であるため、ファイバ型放射温度計（ジャパンセンサ社製）で線材の温度が最も高くなる部分よりも手前の位置にて温度を測定し、ジュール熱と放熱を考慮して最高到達温度を算出した。高周波加熱および連続走間熱処理では、熱処理区間出口付近の線材温度を測定した。第2熱処理後に、表1に示す条件で時効熱処理を施し、アルミニウム合金線を製造した。

[0048] （実施例2）

Mg、Si、FeおよびAlと、選択的に添加するCu、Mn、Hf、V、Sc、Co、Ni、Cr、Zr、Au、Ag、TiおよびBを、表3に示す含有量（質量％）になるように配合した以外は、実施例1と同様の方法で鑄造、圧延を行い、約 $9.5\text{ mm}\phi$ とし、これを表2に示す1パス加工率にて伸線加工を行った。次に、この伸線加工を施した加工材に表4に示す条件で中間熱処理を行い、その後、伸線加工を施し $\phi 0.3\text{ mm}$ とした。次いで、その加工材に更に溶体化処理を施した。そして、溶体化処理後に、表4に示す条件で時効熱処理を施し、アルミニウム合金線を製造した。

[0049] 作製した各々の発明例および比較例のアルミニウム合金線について以下に示す方法により各特性を測定した。その結果を表2、表4に示す。

[0050] （a）化合物粒子の粒子分布

TEMでアルミニウム合金導体の伸線方向に垂直な断面を5～60万倍で任意に観察して撮影した写真を用いて、化合物粒子が少なくとも40個入る正方形を描き、該正方形と同一寸法の正方形を用いて、任意の場所30箇所、それぞれの正方形内に含まれる粒子の個数をカウントした。そして、カウントされた化合物粒子の最大値と最小値の比を求めた。本実施例では、最

大値と最小値の比、すなわち、最大分散密度を最小分散密度で割った値が5倍以下を合格とした。

[0051] (b) 化合物粒子の粒子密度

実施例及び比較例の線材をFIB法(Focused Ion Beam)にて薄膜にし、透過電子顕微鏡(TEM)を用いて任意の範囲を観察した。化合物粒子は、撮影された写真から上記で規定する、粒子径20~1000nmの粒子をカウントした。粒子が測定範囲外にまたがるとき、粒子径の半分以上が測定範囲内に含まれていれば、粒子数にカウントした。化合物粒子の分散密度は40個以上をカウントできる範囲を設定して、化合物粒子の分散密度(個/ $\mu\text{m}^2$ ) = 化合物粒子の個数(個) / カウント対象範囲( $\mu\text{m}^2$ )の式を用いて算出した。カウント対象範囲は場合によっては複数枚の写真を用いた。40個以上カウントできないほど粒子が少ない場合は、 $1\mu\text{m}^2$ を指定してその範囲の分散密度を算出した。なお、化合物粒子の分散密度は、上記薄膜の試料厚さを、 $0.15\mu\text{m}$ を基準厚さとして算出している。試料厚さが基準厚さと異なる場合、試料厚さを基準厚さに換算して、つまり、(基準厚さ/試料厚さ)を撮影された写真を基に算出した分散密度にかけることによって、分散密度を算出できる。本実施例及び比較例では、FIB法によりすべての試料において試料厚さを約 $0.15\mu\text{m}$ に設定し作製した。粒子径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であれば「○」とし、そのような分散状態になれば「×」とした。

[0052] (c) 破断までの繰返回数

耐屈曲疲労特性の基準として、常温におけるひずみ振幅は $\pm 0.17\%$ とした。耐屈曲疲労特性はひずみ振幅によって変化する。ひずみ振幅が大きい場合、疲労寿命は短くなり、ひずみ振幅が小さい場合、疲労寿命は長くなる。ひずみ振幅は、線材の線径と曲げ冶具の曲率半径により決定することができるため、線材の線径と曲げ冶具の曲率半径は任意に設定して屈曲疲労試験を実施することが可能である。藤井精機株式会社(現株式会社フジイ)製の両振屈曲疲労試験機を用い、 $0.17\%$ の曲げ歪みが与えられる冶具を使用

して、繰り返し曲げを実施することにより、破断までの繰返回数を測定した。本実施例では、破断までの繰返回数が10万回以上を合格とした。

[0053] (d) 柔軟性（引張破断伸び）の測定

JIS Z 2241 に準じて各3本ずつの供試材（アルミニウム合金線）について引張試験を行い、その平均値を求めた。伸びは、引張破断伸びが5%以上を合格とした。

[0054] (e) 衝撃吸収エネルギーの測定

アルミニウム合金導体線の一方の端に錘を付け、錘を300mmの高さから自由落下させた。錘を重いものに順次変えていき、断線する直前の錘の重さから吸収エネルギーを計算した。衝撃吸収エネルギーは、アルミニウム合金導体が断線する直前の（錘の位置エネルギー）／（アルミニウム合金導体の断面積）で算出し、200J/cm<sup>2</sup>以上を合格とした。

[0055] (f) 導電率（EC）

長さ300mmの試験片を20℃（±0.5℃）に保持した恒温槽中で、四端子法を用いて比抵抗を各3本ずつの供試材（アルミニウム合金線）について測定し、その平均導電率を算出した。端子間距離は200mmとした。導電率は、45% IACS以上を合格とした。

[0056]

[表1]

No.	組成 質量%																
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Hf	V	Sc	Co	Ni	Cr	Zr	Au	Ag	Ti	B	Al
発明例	1	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	2	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	3	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	4	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	5	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	6	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	7	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	8	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	9	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	10	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	11	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	12	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	13	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	14	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
比較例	1	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	2	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	3	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	4	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	5	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	
	6	0.50	0.50	0.20	0.05					0.10					0.010	0.005	

[0057]

[表2]

No.	製造		伸線工程		中間焼鈍		時刻		分散密度判定	粒子分布最大/最小倍	破断までの繰返回数 $10^4$ 回	伸び%	衝撃吸収エネルギー $J/cm^2$	導電率%ACS
	冷却速度 $^{\circ}C/sec$	1パスの加工率%	ダイス半角度	エネルギー面積 $^{\circ}C \cdot h$	温度 $^{\circ}C$	時間h								
1	5	16	3	180	200	1	○	3.0	85	8	850	52		
2	10	32	1	600	200	15	○	1.6	73	7	560	55		
3	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	72	8	670	52		
4	20	37	1	1800	200	15	○	1.3	79	7	630	55		
5	20	38	2	2400	175	15	○	1.4	134	9	1760	52		
6	5	39	4	1200	175	1	○	1.8	89	13	1670	49		
7	10	28	7	1800	175	5	○	3.0	115	12	2050	50		
8	15	39	5	1200	175	15	○	2.0	136	9	1790	52		
9	20	10	10	600	150	5	○	4.9	104	13	1990	48		
10	20	15	4	180	140	15	○	3.3	114	12	2050	49		
11	5	18	6	2400	140	10	○	3.5	96	11	1510	49		
12	20	37	3	1200	150	5	○	1.7	110	13	2120	48		
13	20	40	1	2400	140	5	○	1.1	102	14	2130	47		
14	20	35	4	600	150	10	○	2.0	122	11	1970	50		
1	20	10	6	0	175	5	x	-	6	3	180	50		
2	10	30	20	0	175	5	x	伸線中に断線	9	4	190	52		
3	2	10	6	1500	150	5	x	-	4	4	170	48		
4	10	15	5	3500	150	5	x	-	4	4	170	48		
5	15	50	10	300	175	5	○	伸線中に断線	4	3	160	52		
6	5	5	11	300	175	5	○	6.2	4	3	160	52		

(注1)表中の斜体太字の数値は、本発明の適正範囲外の数値であることを示す。

[表3]

No.	組成 質量%														Al		
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Hf	V	Sc	Co	Ni	Cr	Zr	Au	Ag		Ti	B
15	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20						0.20	0.30			0.010	0.005	残部
16	0.30	0.30	0.20	0.20											0.010	0.005	
17	0.70	0.70	0.20	0.20											0.010	0.005	
18	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10					0.10	0.10				0.010	0.005	
19	0.20	0.20	1.00	0.20						0.10	0.10				0.010	0.005	
20	0.10	0.30	0.20	0.20											0.010	0.005	
21	0.40	0.20	0.20												0.010	0.005	
22	0.50	0.50	0.01					0.05			0.20	0.20			0.010	0.005	
23	0.60	0.10	0.20												0.010	0.005	
24	0.10	0.50	0.20												0.010	0.005	
25	0.40	0.40	1.40												0.010	0.005	
26	0.40	0.30	0.10	0.10											0.010	0.005	
27	0.10	0.50	0.10	0.20	0.10							0.30	0.30		0.010	0.005	
28	0.60	0.50	0.20	0.03							0.10	0.10			0.010	0.005	
29	0.50	0.60	0.20						0.05								
30	0.40	0.40	0.20	0.30													
31	0.60	0.60	0.10	0.10													
32	0.70	0.80	0.10	0.10													
33	0.50	0.60	0.20	0.20				0.20									
34	0.40	0.50	0.10	0.20	0.10												
35	1.00	1.00	0.01	0.20				0.40	0.40		0.10	0.20	0.10	0.10	0.050	0.010	
36	0.50	0.50	0.01	0.10													
37	0.50	0.50	0.01	0.10									0.20	0.20	0.050	0.010	
38	0.80	0.80	0.01	0.10									0.10	0.10	0.050	0.010	
39	0.50	0.50	0.01	0.10				0.10									
40	0.60	0.60	0.01	0.10				0.40	0.40		0.20	0.20	0.10	0.10	0.050	0.010	
7	0.01	0.01	0.20	0.01	0.01												
8	1.20	1.00	0.20														
9	3.00	0.80	0.20														
10	0.50	2.00	0.20	2.00													
11	0.50	0.50	0.13														
12	0.52	0.67	0.13												0.020	0.004	

(注1)表中の斜体太字の数値は、本発明の適正範囲外の数値であることを示す。

[表4]

No.	製造 冷却速度 °C/sec	伸線工程		中間焼鈍 エネルギー面積 °C・h	時刻		分散密度 判定	粒子分布 最大/最小 倍	破断まで の繰返回 10 <sup>4</sup> 回	伸び %	衝撃吸収 エネルギー J/cm <sup>2</sup>	導電率 %ACS
		1パスの加工率 %	ダイス半角 度		温度 °C	時間 h						
15	10	28	7	1800	175	5	○	3.3	10	15	210	54
16	10	28	7	1800	175	5	○	2.6	46	10	870	53
17	10	28	7	1800	175	5	○	3.0	149	5	1840	49
18	10	28	7	1800	175	5	○	3.0	110	8	1750	48
19	10	28	7	1800	175	5	○	3.1	20	13	440	52
20	10	28	7	1800	175	5	○	3.2	15	14	220	53
21	20	40	1	2400	140	5	○	1.3	18	17	530	50
22	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	69	8	1110	55
23	20	40	1	2400	140	5	○	1.1	13	17	360	46
24	20	40	1	2400	140	5	○	1.3	12	18	350	47
25	20	40	1	2400	140	5	○	1.1	42	13	1050	51
26	20	40	1	2400	140	5	○	1.2	39	14	1060	48
27	20	40	1	2400	140	5	○	1.0	12	18	350	47
28	20	35	4	600	150	10	○	2.0	104	11	2340	54
29	20	35	4	600	150	10	○	1.9	112	10	2290	54
30	20	35	4	600	150	10	○	2.0	56	13	1440	56
31	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	90	5	840	52
32	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.4	114	6	1360	48
33	20	35	4	600	150	10	○	1.9	120	10	2320	51
34	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.7	60	5	530	49
35	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	132	5	1310	42
36	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	66	8	1010	56
37	5	36	2	2400	250	0.5	○	1.5	68	9	1190	54
38	20	35	4	600	150	10	○	2.1	141	8	2510	46
39	20	35	4	600	150	10	○	2.0	88	12	2150	53
40	20	35	4	600	150	10	○	1.8	120	10	2460	44
7	10	10	6	1800	150	5	○	8.0	4	23	350	62
8	3	10	7	-850	180	20	×	-	9	12	180	48
9	10	20	20	600	200	15	○	9.0	2	3	120	34
10	15	20	10	1200	175	10	○	10.0	3	1	200	38
11	10	10	8	400	250	8	○	伸線中に断線				
12	0.01	20	10	400	250	8	○	-	8	4	170	52

(注1)表中の斜体太字の数値は、本発明の適正範囲外の数値であることを示す。

[0060]

表2の結果より、次のことが明らかである。

- [0061] 発明例 1 ~ 14 のアルミニウム合金線は、いずれも高導電性、高い耐屈曲疲労特性、高い衝撃吸収性および高い伸び性を示した。
- [0062] これに対し、比較例 1, 4 では、中間焼鈍でのエネルギー面積および粒子径が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸びおよび衝撃吸収エネルギーが不足した。比較例 2, 5 では、伸線中に断線した。比較例 3 では、鑄造冷却温度および粒子径が本発明の範囲外であり、破断までの繰返回数、伸びおよび衝撃吸収エネルギーが不足した。比較例 6 では、1 パスの加工率、ダイス半角および粒子分布が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸びおよび衝撃吸収エネルギーが不足した。
- [0063] また、表 4 の結果より、次のことが明らかである。
- [0064] 発明例 15 ~ 40 のアルミニウム合金線は、いずれも高導電性、高い耐屈曲疲労特性、高い衝撃吸収性および高い伸び性を示した。
- [0065] これに対し、比較例 7 では、Mg、Si 含有量および粒子分布が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数が不足した。また、比較例 8 では、Mg 含有量、鑄造冷却速度、中間焼鈍でのエネルギー面積および粒子径が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸びおよび衝撃吸収エネルギーが不足した。比較例 9 では、Mg 含有量、ダイス半角および粒子分布が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸び、衝撃吸収エネルギーおよび導電率が不足した。比較例 10 では、Si 含有量および粒子分布が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸びおよび導電率が不足した。比較例 11 では、Cu、Zr 含有量および粒子分布が本発明の範囲外にあり、伸線加工中に断線した。また、比較例 12 では、鑄造冷却速度および粒子径が本発明の範囲外にあり、破断までの繰返回数、伸びおよび衝撃吸収エネルギーが不足した。

### 産業上の利用可能性

- [0066] 本発明のアルミニウム合金導体は、Al-Mg-Si 系合金、例えば 6000 系アルミニウム合金において、直径が  $\phi 0.5$  mm 以下である極細線として使用した場合であっても、高導電性、高い耐屈曲疲労特性および高い伸

び性を示す、電気配線体の線材として用いることができる。また、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネス等に使用することができ、移動体に搭載されるバッテリーケーブル、ハーネスあるいはモータ用導線、産業用ロボットの配線体として有用である。さらに、非常に高い耐屈曲疲労特性が求められるドアやトランク、ボンネットなどに好適に用いることができる。

## 請求の範囲

[請求項1] Mg : 0.10~1.00質量%、Si : 0.10~1.00質量%、Fe : 0.01~1.40質量%、Ti : 0.000~0.100質量%、B : 0.000~0.030質量%、Cu : 0.00~1.00質量%、Ag : 0.00~0.50質量%、Au : 0.00~0.50質量%、Mn : 0.00~1.00質量%、Cr : 0.00~1.00質量%、Zr : 0.00~0.50質量%、Hf : 0.00~0.50質量%、V : 0.00~0.50質量%、Sc : 0.00~0.50質量%、Co : 0.00~0.50質量%、Ni : 0.00~0.50質量%、残部 : Alおよび不可避不純物である組成を有し、

粒子径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とするアルミニウム合金導体。

[請求項2] Ti : 0.001~0.100質量%およびB : 0.001~0.030質量%からなる群から選択された1種または2種を含有することを特徴とする、請求項1記載のアルミニウム合金導体。

[請求項3] Cu : 0.01~1.00質量%、Ag : 0.01~0.50質量%、Au : 0.01~0.50質量%、Mn : 0.01~1.00質量%、Cr : 0.01~1.00質量%、Zr : 0.01~0.50質量%、Hf : 0.01~0.50質量%、V : 0.01~0.50質量%、Sc : 0.01~0.50質量%、Co : 0.01~0.50質量%、Ni : 0.01~0.50質量%からなる群から選択された1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1または2記載のアルミニウム合金導体。

[請求項4] Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、Co、Niの含有量の合計が0.01~2.00質量%である、請求項1~3のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項5] 前記アルミニウム合金導体中の前記化合物粒子の分布において、該

化合物粒子の最大分散密度が最小分散密度の5倍以下であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項6] 屈曲疲労試験によって測定した破断までの繰返回数が10万回以上であり、導電率が45～60% IACSであり、伸びが5～20%であることを特徴とする、請求項1～5のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項7] 衝撃吸収エネルギーが200 J/cm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項8] 素線の直径が0.1～0.5 mmであるアルミニウム合金線である請求項1～7のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項9] 請求項1～8のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線を複数本撚り合わせて構成されることを特徴とする、アルミニウム合金撚線。

[請求項10] 請求項8に記載のアルミニウム合金導体または請求項9に記載のアルミニウム合金撚線の外周に被覆層を有する被覆電線。

[請求項11] 請求項10に記載の被覆電線と、該被覆電線の、前記被覆層を除去した端部に装着された端子とを具備するワイヤーハーネス。

[請求項12] 溶解処理、鋳造処理、熱間または冷間加工処理、第1伸線加工処理、中間熱処理、第2伸線加工処理、溶体化熱処理および時効熱処理を、この順に実行して得られるアルミニウム合金導体の製造方法であって、

前記鋳造処理の冷却速度が、5～20℃/sであり、

前記中間熱処理は300～480℃の温度範囲で行い、該温度範囲においてアルミニウム合金導体に与えるエネルギーのエネルギー面積が180～2500℃・hであり、

前記第1伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が1～10°であり、1パスの加工率が10～40%であり、

前記第2伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が1

～10°であり、1パスの加工率が10～40%であることを特徴とする、請求項1～8のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体の製造方法。

補正された請求の範囲  
[2014年7月8日(08.07.2014) 国際事務局受理]

- [請求項1] (補正後) Mg : 0.10~1.00質量%、Si : 0.10~1.00質量%、Fe : 0.01~1.40質量%、Ti : 0.000~0.100質量%、B : 0.000~0.030質量%、Cu : 0.00~1.00質量%、Ag : 0.00~0.50質量%、Au : 0.00~0.50質量%、Mn : 0.00~1.00質量%、Cr : 0.00~1.00質量%、Zr : 0.00~0.50質量%、Hf : 0.00~0.50質量%、V : 0.00~0.50質量%、Sc : 0.00~0.50質量%、Co : 0.00~0.50質量%、Ni : 0.00~0.50質量%、残部 : Al および不可避不純物である組成を有し、  
粒子径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であり、  
前記アルミニウム合金導体中の前記化合物粒子の分布において、該化合物粒子の最大分散密度が最小分散密度の5倍以下であることを特徴とするアルミニウム合金導体。
- [請求項2] Ti : 0.001~0.100質量%およびB : 0.001~0.030質量%からなる群から選択された1種または2種を含有することを特徴とする、請求項1記載のアルミニウム合金導体。
- [請求項3] Cu : 0.01~1.00質量%、Ag : 0.01~0.50質量%、Au : 0.01~0.50質量%、Mn : 0.01~1.00質量%、Cr : 0.01~1.00質量%、Zr : 0.01~0.50質量%、Hf : 0.01~0.50質量%、V : 0.01~0.50質量%、Sc : 0.01~0.50質量%、Co : 0.01~0.50質量%、Ni : 0.01~0.50質量%からなる群から選択された1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1または2記載のアルミニウム合金導体。
- [請求項4] Fe、Ti、B、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、Co、Niの含有量の合計が0.01~2.00質量%である、請求項1

～3のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項5] (削除)

[請求項6] (補正後) 屈曲疲労試験によって測定した破断までの繰返回数が10万回以上であり、導電率が45～60% IACSであり、伸びが5～20%であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項7] (補正後) 衝撃吸収エネルギーが200 J/cm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする請求項1～4, 6のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項8] (補正後) 素線の直径が0.1～0.5 mmであるアルミニウム合金線である請求項1～4, 6, 7のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体。

[請求項9] (補正後) 請求項1～4, 6～8のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線を複数本燃り合わせて構成されることを特徴とする、アルミニウム合金燃線。

[請求項10] 請求項8に記載のアルミニウム合金導体または請求項9に記載のアルミニウム合金燃線の外周に被覆層を有する被覆電線。

[請求項11] 請求項10に記載の被覆電線と、該被覆電線の、前記被覆層を除去した端部に装着された端子とを具備するワイヤーハーネス。

[請求項12] (補正後) 溶解処理、鋳造処理、熱間または冷間加工処理、第1伸線加工処理、中間熱処理、第2伸線加工処理、溶体化熱処理および時効熱処理を、この順に実行して得られるアルミニウム合金導体の製造方法であって、前記鋳造処理の冷却速度が、5～20°C/sであり、前記中間熱処理は300～480°Cの温度範囲で行い、該温度範囲においてアルミニウム合金導体に与えるエネルギーのエネルギー面積が180～2500°C・hであり、

前記第1伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が1～10°であり、1パスの加工率が10～40%であり、

前記第2伸線加工処理において用いられるダイスのダイス半角が1～1

0° であり、1パスの加工率が10～40%であることを特徴とする、請求項1～4、6～8のいずれか1項に記載のアルミニウム合金導体の製造方法。

## 条約第19条(1)に基づく説明書

本発明によれば、Mg : 0.10~1.00質量%、Si : 0.10~1.00質量%、Fe : 0.01~1.40質量%、Ti : 0.000~0.100質量%、B : 0.000~0.030質量%、Cu : 0.00~1.00質量%、Ag : 0.00~0.50質量%、Au : 0.00~0.50質量%、Mn : 0.00~1.00質量%、Cr : 0.00~1.00質量%、Zr : 0.00~0.50質量%、Hf : 0.00~0.50質量%、V : 0.00~0.50質量%、Sc : 0.00~0.50質量%、Co : 0.00~0.50質量%、Ni : 0.00~0.50質量%、残部 : Alおよび不可避不純物である組成を有し、粒子径20~1000nmの化合物粒子の分散密度が1個/ $\mu\text{m}^2$ 以上であり、前記アルミニウム合金導体中の前記化合物粒子の分布において、該化合物粒子の最大分散密度が最小分散密度の5倍以下であるアルミニウム合金導体が提供される。本構成により、高導電率を確保すると共に、高い耐屈曲疲労特性、高い衝撃吸収性および高い伸び性を同時に実現することができる。

文献1~3のいずれにも、本発明の上記独特の構成について記載されておらず、また、当業者にとって自明なものでもない。

以上

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/080958

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
*C22C21/00(2006.01)i, C22F1/04(2006.01)i, H01B1/02(2006.01)i, H01B5/02(2006.01)i, H01B7/00(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, C22F1/00(2006.01)n*

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)  
 C22C21/00-21/18, C22F1/04, C22F1/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2013-44038 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraphs [0014] to [0021], [0036]; table 1 (Family: none)	1-4, 6-11 5, 12
X A	WO 2012/011447 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 26 January 2012 (26.01.2012), paragraphs [0017] to [0027], [0042]; table 1 & JP 5193374 B & US 2013/0126055 A1 & EP 2597169 A1 & CN 103052729 A	1-4, 6-11 5, 12

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 21 January, 2014 (21.01.14)	Date of mailing of the international search report 04 February, 2014 (04.02.14)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/080958

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 2013-44039 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraphs [0022] to [0031] (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. C22C21/00(2006.01)i, C22F1/04(2006.01)i, H01B1/02(2006.01)i, H01B5/02(2006.01)i, H01B7/00(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, C22F1/00(2006.01)n		
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. C22C21/00-21/18, C22F1/04, C22F1/00		
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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2013-44038 A（古河電気工業株式会社）2013.03.04, 【0014】 - 【0021】、【0036】、表1（ファミリーなし）	1-4, 6-11 5, 12
X A	WO 2012/011447 A1（古河電気工業株式会社）2012.01.26, 【0017】 - 【0027】、【0042】、表1 & JP 5193374 B & US 2013/0126055 A1 & EP 2597169 A1 & CN 103052729 A	1-4, 6-11 5, 12
A	JP 2013-44039 A（古河電気工業株式会社）2013.03.04, 【0022】 - 【0031】（ファミリーなし）	1-12
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="margin-left: 200px;"><input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>		
* 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 21.01.2014	国際調査報告の発送日 04.02.2014	
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） 藤代 佳 電話番号 03-3581-1101 内線 3435	4 K    3 8 3 7