

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6462662号
(P6462662)

(45) 発行日 平成31年1月30日(2019.1.30)

(24) 登録日 平成31年1月11日(2019.1.11)

(51) Int.Cl.	F I
C 2 2 C 21/00 (2006.01)	C 2 2 C 21/00 A
C 2 2 F 1/04 (2006.01)	C 2 2 F 1/04 H
H O 1 B 1/02 (2006.01)	H O 1 B 1/02 B
H O 1 B 5/08 (2006.01)	H O 1 B 5/08
H O 1 B 7/00 (2006.01)	H O 1 B 7/00 3 O 1

請求項の数 14 (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-506076 (P2016-506076)
 (86) (22) 出願日 平成26年10月31日(2014.10.31)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2014/079033
 (87) 国際公開番号 W02015/133004
 (87) 国際公開日 平成27年9月11日(2015.9.11)
 審査請求日 平成29年8月9日(2017.8.9)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-44439 (P2014-44439)
 (32) 優先日 平成26年3月6日(2014.3.6)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-185382 (P2014-185382)
 (32) 優先日 平成26年9月11日(2014.9.11)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000005290
 古河電気工業株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
 (73) 特許権者 391045897
 古河AS株式会社
 滋賀県犬上郡甲良町尼子1000番地
 (74) 代理人 100143959
 弁理士 住吉 秀一
 (72) 発明者 吉田 祥
 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
 (72) 発明者 関谷 茂樹
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アルミニウム合金線材、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線材の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Mg : 0.10 ~ 1.00 質量%、Si : 0.10 ~ 1.20 質量%、Fe : 0.01 ~ 0.70 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り、
Mg / Si 質量比が 0.4 ~ 0.8 である組成を有し、
溶質原子クラスターが存在し、かつ、
引張強度が 200 MPa 以上、伸びが 13 % 以上、導電率が 45 % IACS 以上、および
0.2 % 耐力 (YS) と引張強度 (TS) の比 (YS / TS) が 0.7 以下であることを
 特徴とするアルミニウム合金線材。

【請求項2】

”相が存在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線材。

【請求項3】

Mg : 0.10 ~ 1.00 質量%、Si : 0.10 ~ 1.20 質量%、Fe : 0.01 ~ 0.70 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

、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り、Mg/Si質量比が0.4～0.8である組成を有し、

示差走査熱量曲線において溶質原子クラスターの溶解に相当する吸熱ピークを有し、かつ

引張強度が200MPa以上、伸びが13%以上、導電率が45%IACS以上、および0.2%耐力(YS)と引張強度(TS)の比(YS/TS)が0.7以下であることを特徴とするアルミニウム合金線材。

10

【請求項4】

示差走査熱量曲線において、150～200 の範囲内における最大熱量を基準熱量とし、前記基準熱量と、150～250 の範囲内における前記溶質原子クラスターの溶解に相当する吸熱ピークの熱量との差の絶対値が、1.0μW/g以上であることを特徴とする、請求項3記載のアルミニウム合金線材。

【請求項5】

示差走査熱量曲線において "相の生成に相当する発熱ピークが生じていることを特徴とする請求項3または4記載のアルミニウム合金線材。

【請求項6】

示差走査熱量曲線において、150～200 の範囲内における最大熱量を基準熱量とし、前記基準熱量と、200～350 の範囲内における前記 "相の生成に相当する発熱ピークの熱量との差の絶対値が、1000μW/g以下であることを特徴とする、請求項5記載のアルミニウム合金線材。

20

【請求項7】

前記化学組成が、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種を含有する請求項1～6のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材。

【請求項8】

前記化学組成が、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%、および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種以上を含有し、平均結晶粒径が線径の1/3以下である請求項1～7のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材。

30

【請求項9】

前記化学組成が、Ni：0.01～0.50質量%を含有する請求項1～8のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材。

【請求項10】

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請求項1～9のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材。

40

【請求項11】

請求項10記載のアルミニウム合金線を複数本撚り合わせて得られるアルミニウム合金撚線。

【請求項12】

請求項1～10のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材または請求項11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13】

請求項12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

50

端子とを具えるワイヤーハーネス。

【請求項14】

溶解、鋳造、均質化熱処理後に、熱間加工を経て荒引線を形成し、その後、少なくとも伸線加工、溶体化熱処理および時効熱処理の各工程を行うアルミニウム合金線材の製造方法であって、

前記溶体化熱処理は、昇温速度 100 / s 以上で、 $450 \sim 600$ の範囲内の所定温度まで加熱し、その後、少なくとも 150 の温度までは 10 / s 以上の平均冷却速度で冷却し、

前記時効熱処理は、昇温速度 $0.5 \sim 130$ / min で、 $20 \sim 150$ の範囲内の所定温度まで加熱することを特徴とする、請求項 1 ~ 10 のいずれか1項に記載のアルミニウム合金線材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【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線材、アルミニウム合金撚線、被覆電線、ワイヤーハーネス並びにアルミニウム合金線材の製造方法およびアルミニウム合金線材の測定方法に関し、特に、素線径が 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、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を確保しつつ、引張強度に対する 0.2 % 耐力が小さいアルミニウム合金線材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ともに、これら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させるため、移動体の軽量化が強く望まれている。

【0003】

こうした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に代えて、より軽量のアルミニウム又はアルミニウム合金に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、アルミニウムの導体線材に、銅の導体線材と同じ電流を流すためには、アルミニウムの導体線材の断面積を、銅の導体線材の断面積の約 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 1.7241×10^{-8} 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線材（JIS規格による A1060 や A1070）を代表とする純アルミニウム線材では、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員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

10

20

30

40

50

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する必要があった。

【0005】

また、高強度アルミニウム合金線材としては、例えばMgとSiを含有するアルミニウム合金線材が知られており、このアルミニウム合金線材の代表例としては、6000系アルミニウム合金（Al-Mg-Si系合金）線材が挙げられる。6000系アルミニウム合金線材は、一般に、溶体化処理及び時効処理を施すことにより高強度化を図ることができる。しかしながら、6000系アルミニウム合金線材を用いて線径0.5mm以下といった極細線を製造する場合、溶体化処理及び時効処理を施すことで高強度化は達成できるものの、耐力（0.2%耐力）が上昇し、塑性変形に大きな力が必要となり、車体への取付け作業効率が低下する傾向にあった。

10

【0006】

移動体の電気配線体に用いられる従来の6000系アルミニウム合金線としては、例えば特許文献1に記載されている。特許文献1に記載のアルミニウム合金線は、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線を実現するものである。また、特許文献1には、結晶粒径微細化などにより良好な導電率、引張強度、伸びが得られる旨が記載されているが、高強度と低耐力の両立については何ら開示も示唆もしていない。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2012-229485号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、素線径が0.5mm以下である極細線として使用した場合であっても、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を確保しつつ、引張強度（TS）に対する0.2%耐力（YS）が小さい電気配線体の導体として用いられるアルミニウム合金線材、アルミニウム合金燃線、被覆電線、ワイヤーハーネスを提供すること、並びにアルミニウム合金線材の製造方法およびアルミニウム合金線材の測定方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、MgとSiを含有するアルミニウム合金を用いることを前提とし、所定の成分組成と製造プロセスの制御により、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を確保しつつ、引張強度に対して0.2%耐力を小さくしたアルミニウム合金線材が得られることを見出し、本発明を完成させるに至った。また、さらに本発明のメカニズムには溶質原子クラスターの生成が関与しており、該溶質原子クラスターの存在によって発明を定義づけることが可能であることを見出した。

【0010】

40

すなわち、本発明の要旨構成は以下のとおりである。

(1) Mg: 0.1~1.0質量%、Si: 0.1~1.2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り、Mg/Si質量比が0.4~0.8である組成を有し、引張強度が200MPa以上、伸びが13%以上、導電率が47%IACS、および0.2%耐力（YS）と引張強度（TS）の比（

50

YS/T S) が 0.7 以下であることを特徴とするアルミニウム合金線材。

(2) 前記化学組成が、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 種を含有する上記 (1) 記載のアルミニウム合金線材。

(3) 前記化学組成が、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% および 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 種以上を含有する上記 (1) または (2) 記載のアルミニウム合金線材。

10

(4) 前記化学組成が、Ni: 0.01 ~ 0.50 質量% を含有する上記 (1) ~ (3) のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(5) 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) ~ (4) のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(6) 素線径が 0.1 ~ 0.5 mm であるアルミニウム合金線である上記 (1) ~ (5) のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(7) 上記 (6) 記載のアルミニウム合金線を複数本撚り合わせて得られるアルミニウム合金撚線。

(8) 上記 (6) 記載のアルミニウム合金線または上記 (7) 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。

20

(9) 上記 (8) 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えるワイヤーハーネス。

(10) 溶解、鋳造後に、熱間加工を経て荒引線を形成し、その後、少なくとも伸線加工、溶体化熱処理および時効熱処理の各工程を行うアルミニウム合金線材の製造方法であって、前記溶体化熱処理は、昇温速度 100 / s 以上で、450 ~ 540 の範囲内の所定温度まで加熱し、保持時間 30 秒以内で保持し、その後、少なくとも 150 の温度までは 10 / s 以上の平均冷却速度で冷却し、前記時効熱処理は、昇温速度 0.5 ~ 130 / min で、20 ~ 150 の範囲内の所定温度まで加熱することを特徴とする、上記 (1) ~ (6) のいずれかに記載のアルミニウム合金線材の製造方法。

30

(11) Mg: 0.10 ~ 1.00 質量%、Si: 0.10 ~ 1.20 質量%、Fe: 0.01 ~ 0.70 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り、Mg/Si 質量比が 0.4 ~ 0.8 である組成を有し、かつ、溶質原子クラスターが存在することを特徴とするアルミニウム合金線材。

(12) " 相が存在することを特徴とする、上記 (11) 記載のアルミニウム合金線材。

40

(13) Mg: 0.10 ~ 1.00 質量%、Si: 0.10 ~ 1.20 質量%、Fe: 0.01 ~ 0.70 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り、Mg/Si 質量比が 0.4 ~ 0.8 である組成を有し、かつ、示差走査熱量曲線において溶質原子クラスターの溶解に相当する吸熱ピークを有することを特徴とするアルミニウム

50

合金線材。

(14) 示差走査熱量曲線において、150～200 の範囲内における最大熱量を基準熱量とし、前記基準熱量と、150～250 の範囲内における前記溶質原子クラスターの溶解に相当する吸熱ピークの熱量との差の絶対値が、 $1.0 \mu W/g$ 以上であることを特徴とする、上記(13)記載のアルミニウム合金線材。

(15) 示差走査熱量曲線において " 相の生成に相当する発熱ピークが生じていることを特徴とする上記(13)または(14)記載のアルミニウム合金線材。

(16) 示差走査熱量曲線において、150～200 の範囲内における最大熱量を基準熱量とし、前記基準熱量と、200～350 の範囲内における前記 " 相の生成に相当する発熱ピークの熱量との差の絶対値が、 $1000 \mu W/g$ 以下であることを特徴とする、

10

上記(15)記載のアルミニウム合金線材。
(17) 前記化学組成が、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(11)～(16)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(18) 前記化学組成が、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%、および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種以上を含有し、平均結晶粒径が線径の1/3以下であることを特徴とする、

20

上記(11)～(17)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。
(19) 前記化学組成が、Ni: 0.01～0.50質量%を含有する上記(11)～(18)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(20) 引張強度が200MPa以上、伸びが13%以上、導電率が45%IACS以上、および0.2%耐力(YS)と引張強度(TS)の比(YS/TS)が0.7以下であることを特徴とする上記(11)～(19)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(21) 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(11)～(20)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材。

(22) 上記(21)記載のアルミニウム合金線を複数本撚り合わせて得られるアルミニウム合金撚線。

30

(23) 上記(11)～(21)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材または上記(22)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。

(24) 上記(23)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えるワイヤーハーネス。

(25) 溶解、鑄造、均質化熱処理後に、熱間加工を経て荒引線を形成し、その後、少なくとも伸線加工、溶体化熱処理および時効熱処理の各工程を行うアルミニウム合金線材の製造方法であって、

前記溶体化熱処理は、昇温速度 $10 / s$ 以上で、450～600 の範囲内の所定温度まで加熱し、その後、少なくとも150 の温度までは $10 / s$ 以上の平均冷却速度で冷却し、

40

前記時効熱処理は、昇温速度 $0.5 \sim 130 / min$ で、20～150 の範囲内の所定温度まで加熱することを特徴とする、上記(11)～(21)のいずれかに記載のアルミニウム合金線材の製造方法。

(26) Mg: 0.10～1.0質量%、Si: 0.10～1.20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り、M

50

g / S i 質量比が 0 . 4 ~ 0 . 8 である組成を有するアルミニウム合金線材の測定方法であって、

示差走査熱量曲線において、150 ~ 200 の範囲内における最大熱量を基準熱量とし、前記基準熱量と150 ~ 250 の範囲内での吸熱ピークに相当する最低熱量との差の絶対値をクラスター生成量と規定し、前記基準熱量と200 ~ 350 の範囲内での発熱ピークに相当する最大熱量との差の絶対値を " 相生成量と規定することを特徴とする、アルミニウム合金線材の測定方法。

【発明の効果】

【0011】

本発明のアルミニウム合金線材によれば、上記規定により、素線径が0.5mm以下である極細線として使用した場合であっても、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を確保しつつ、引張強度(TS)に対する0.2%耐力(YS)を小さくした、電気配線体の導体として用いられるアルミニウム合金線材、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線材の製造方法を提供することが可能である。このような本発明のアルミニウム合金線材は、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、本発明のアルミニウム合金線材は、引張強度が適度に高いことから従来の電線よりも電線径を細くすることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明のアルミニウム合金線材において、溶質原子クラスター及び " 相を分析・測定する方法を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の実施形態(以下、本実施形態という)となるアルミニウム合金線材は、Mg : 0.10 ~ 1.00質量%、Si : 0.10 ~ 1.20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、引張強度が250MPa以上、伸びが13%以上、導電率が47% IACS、および強度に対する0.2%耐力の比が0.7以下であることを特徴とするアルミニウム合金線材である。

【0014】

また、本実施形態のアルミニウム合金線材は、Mg : 0.10 ~ 1.00質量%、Si : 0.10 ~ 1.20質量%、Fe : 0.01 ~ 0.70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り、Mg / Si 質量比が0.4 ~ 0.8である組成を有し、かつ、溶質原子クラスターが存在するアルミニウム合金線材である。

【0015】

ここで溶質原子クラスターとは、溶質原子が凝集してできた集合体であり、たとえば本実施形態ではSi-SiクラスターやMg-Siクラスターなどのクラスターが生成されている。

【0016】

10

20

30

40

50

以下に、上記本実施形態のアルミニウム合金線材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 と一緒に β 相 (ベータダブルプライム相) などとして析出し引張強度を向上させる作用を持つ。また、溶質原子クラスターとして Mg - Si クラスターを形成した場合は引張強度、伸び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 0.10 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 1.00 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、伸びが低下するとともに、耐力が高くなり取り回し性が低下する。また、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。

10

【0017】

< Si : 0.10 ~ 1.20 質量% >

Si (ケイ素) 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 Mg と一緒に β 相などとして析出し引張強度、耐屈曲疲労特性を向上させる作用を持つ。また Si は、溶質原子クラスターとして Mg - Si クラスターや、Si - Si クラスターを形成した場合に引張強度、伸びを向上させる作用を有する元素である。Si 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、Si 含有量が 1.00 質量% を超えると、結晶粒界に Si 濃化部分を形成する可能性が高まり、引張強度、伸びが低下するとともに耐力が高くなり取り回し性が低下する。また、Si 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、Si 含有量は 0.10 ~ 1.20 質量% とする。なお、Si 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。

20

【0018】

< Fe : 0.01 ~ 1.40 質量% >

Fe (鉄) は、主に Al - Fe 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、引張強度を向上させる元素である。Fe は、Al 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、Al 中に固溶できない残りの Fe は、Al - Fe、Al - Fe - Si、Al - Fe - Si - Mg 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、引張強度を向上させる。また、Fe は、Al 中に固溶した Fe によっても引張強度を向上させる作用を有する。Fe 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、Fe 含有量が 1.40 質量% 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低下すると共に、耐力が上昇し取り回し性が低下する。また、耐屈曲疲労特性と導電率も低下する。したがって、Fe 含有量は 0.01 ~ 1.40 質量% とし、好ましくは 0.15 ~ 0.70 質量%、更に好ましくは 0.15 ~ 0.45 質量% とする。

30

40

【0019】

本発明のアルミニウム合金線材は、上述の通り、Mg、Si および Fe を必須の含有成分とするが、必要に応じて、さらに、Ti および B からなる群から選択された 1 種または 2 種、Cu、Ag、Au、Mn、Cr、Zr、Hf、V、Sc、Co および Ni の 1 種または 2 種以上を含有させることができる。

< 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

50

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。

< 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。

【0020】

< 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% >および< 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% >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と異常な粗大成長粒の生成を抑制する元素であり、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、及び伸び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、該元素を含有する化合物が粗大になり、伸線加工性を劣化させるため、断線が生じやすく、また、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。なお、この元素群の中で、特にNiを含有するのが好ましい。Niを含有すると、結晶粒微細化効果と異常粒成長抑制効果が顕著になり引張強度と伸びが向上する。また、導電率の低下と伸線加工中の断線をより抑制しやすくなる。この効果が顕著になるので、Niの含有量は0.05~0.3質量%であるのが更に好ましい。

【0021】

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、耐力上昇による取り回し性が低下する傾向がある。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線材ではFeは必須元素なので、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。ただし、これらの元素を単独で添加する場合は、含有量が多いほど該元素を含有する化合物が粗大になる傾向にあり、伸線加工性を劣化させ、断線が生じやすくなることから、それぞれの元素において上記の規定の含有範囲とした。

【0022】

なお、高導電率を保ちつつ、引張強度や伸び、引張強度に対する耐力値を適度に低下させるには、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、0.01~0.80質量%が特に好ましく、0.05~0.60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、引張強度に対する耐力値を適度に低下させるためには、0.80超~2.00質量%が特

10

20

30

40

50

に好ましく、1.00～2.00質量%が更に好ましい。

【0023】

<残部：Alおよび不可避不純物>

上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。

【0024】

また本実施形態において、Si含有率（質量%）に対するMg含有率（質量%）の比（Mg/Si質量比と称する）は0.4～0.8%である。Mg/Si質量比が0.4～0.8であると時効処理により溶質原子クラスターの数が増加し引張強度と伸びが向上する。導電率の点では溶質原子クラスターは若干低下させる方向であるが、本実施形態の組成では母相の導電率が十分確保されており、問題ない。0.2%耐力については、一般に引張強度が上がるとともに上がると言われているが、溶質原子クラスターが存在していることでその効果を抑制することができる。Mg/Si質量比が0.4%未満であると、溶質原子クラスターに寄与しないSiが余分に存在し導電率を低下させるのみになり、また0.8%を超えると、溶質原子クラスターを十分に生成させることができない。

10

【0025】

このようなアルミニウム合金線材は、合金組成や製造プロセスを組み合わせることで実現できる。以下、本発明のアルミニウム合金線材の好適な製造方法について説明する。

20

（本発明のアルミニウム合金線材の製造方法）

本発明のアルミニウム合金線材は、[1]溶解、[2]鋳造、[3]熱間加工（溝ロール加工など）、[4]第1伸線加工、[5]第1熱処理（中間熱処理）、[6]第2伸線加工、[7]第2熱処理（溶体化熱処理）、および[8]第3熱処理（時効熱処理）の各工程を順次行うことを含む製造方法によって製造することができる。なお、第2熱処理前後、または時効熱処理の後に、撚り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。

【0026】

[1]溶解

溶解は、上述したアルミニウム合金組成になるように各成分の分量を調整して溶製する。

30

[2]鋳造および[3]熱間加工（溝ロール加工など）

次いで、鋳造輪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鋳造し、連続して圧延を行い、例えば直径5～13mm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1～20/sであるが、これに制限されるものではない。鋳造及び熱間圧延は、ピレット鋳造及び押出法などにより行ってもよい。

40

【0027】

[4]第1伸線加工

次いで、表面の皮むきを実施して、例えば直径5～12.5mmの適宜の太さの棒材とし、これを冷間で伸線加工する。加工度は、1～6の範囲であることが好ましい。ここで加工度は、伸線加工前の線材断面積を A_0 、伸線加工後の線材断面積を A_1 とすると、 $= \ln(A_0/A_1)$ で表される。加工度が1未満だと、次工程の熱処理時、再結晶粒が粗大化し、引張強度及び伸びが著しく低下し、断線の原因になるおそれがある。また、加工度が6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からである。表面の皮むきは、行うことによって表面の清浄化がなされるが、行わなくてもよい。

50

[5] 第 1 熱処理 (中間熱処理)

次に、冷間伸線した被加工材に第 1 熱処理を施す。本発明の第 1 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に行うものである。伸線加工性が十分であり、断線が生じなければ第 1 熱処理は行わなくてもよい。

【 0 0 2 8 】

[6] 第 2 伸線加工

上記第 1 熱処理の後、さらに冷間で伸線加工を施す。この際の加工度は 1 ~ 6 の範囲が好ましい。加工度は、再結晶粒の形成及び成長に影響を及ぼす。加工度が 1 よりも小さいと、次工程の熱処理時、再結晶粒が粗大化し、引張強度及び伸びが著しく低下する傾向があり、また、加工度が 6 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傾向があるからである。なお、第 1 熱処理を行わない場合、第 1 伸線加工と第 2 伸線加工は連続で行ってもよい。

【 0 0 2 9 】

[7] 第 2 熱処理 (溶体化熱処理)

伸線加工した加工材に第 2 熱処理を施す。本発明の第 2 熱処理は、ランダムに含有されている Mg と Si の化合物をアルミニウム母相中に溶け込ませるために行う溶体化熱処理である。溶体化処理は、加工中に Mg や Si の濃化部分をならす (均質化する) ことができ、最終的な時効熱処理後の Mg と Si の化合物の粒界偏析の抑制につながる。第 2 熱処理は、具体的には、昇温速度 100 / s 以上で、450 ~ 600 の範囲内の所定温度まで加熱し、保持時間 30 秒以内で保持し、その後、少なくとも 150 の温度までは 10 / s 以上の平均冷却速度で冷却する熱処理である。第 2 熱処理における昇温速度が 100 / s 未満であると結晶粒径が粗大化する。また、第 2 熱処理の加熱時の所定温度が 540 よりも高いと、結晶粒径が粗大化し、異常成長粒が生成し、同所定温度が 450 よりも低いと、Mg₂Si を十分に固溶させることができない。したがって、第 2 熱処理における加熱時の所定温度は 450 ~ 600 の範囲とし、Mg、Si 含有量によっても変化するが好ましくは 450 ~ 540、より好ましくは 480 ~ 520 の範囲とする。

【 0 0 3 0 】

第 2 熱処理を行う方法としては、例えば、バッチ焼鈍、ソルトバス (塩浴) でも、高周波加熱、通電加熱、走間加熱などの連続熱処理でもよい。

【 0 0 3 1 】

ただし、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。

【 0 0 3 2 】

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 ~ 2 s、好ましくは 0.05 ~ 1 s、より好ましくは 0.05 ~ 0.5 s で行う。

【 0 0 3 3 】

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、

10

20

30

40

50

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。

【0034】

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。この熱処理時間は好ましくは0.5~30sで行う。

【0035】

線材温度又は熱処理時間の一方又は両方が上記で定義される条件より低い場合は、溶体化が不完全になり後工程の時効熱処理時に生成する溶質原子クラスターや β 相や Mg_2Si 析出物が少なくなり、引張強度、耐衝撃性、耐屈曲疲労特性、導電率の向上幅が小さくなる。線材温度又は焼鈍時間の一方又は両方が上記で規定される条件より高い場合は、結晶粒が粗大化すると共に、アルミニウム合金線材中の化合物相の部分溶融（共晶融解）が起こり、引張強度、伸びが低下し、導体の取り扱い時に断線が起こりやすくなる。

【0036】

[8]第3熱処理（時効熱処理）

次いで、第3熱処理を施す。この第3熱処理は、溶質原子クラスターを生成させるために行う時効熱処理である。時効熱処理における加熱温度は、好ましくは20~150°Cである。前記加熱温度が20°C未満であると、溶質原子クラスターの生成が遅く必要な引張強度と伸びを得るために時間が掛かるため量産的に不利である。また、前記加熱温度が150°Cよりも高いと、溶質原子クラスターの生成量が少なくなり伸びを低下させる Mg_2Si 針状析出物（ β 相）が多数生成する。時効熱処理における加熱温度は、より伸びの向上に効果のある溶質原子クラスターを生成させるため、20~70°Cが好ましい。

β 相も同時に析出させ、引張強度と伸びのバランスを取るには100~125°Cが好ましい。また、加熱時間は、温度によって最適な時間が変化する。低温では長時間、高温では短時間の加熱が引張強度、伸びを向上させ、引張強度に対する0.2%耐力を小さくする上で好ましい。長時間の加熱では、例えば10日間以内であり、短時間での加熱では、好ましくは15時間以下、更に好ましくは8時間以下である。なお、時効熱処理における冷却は、特性のバラつきを防止するために、可能な限り冷却速度を速くすることが好ましい。もちろん、製造工程上、速く冷却できない場合であっても、溶質原子クラスターの生成が十分なされる時効条件であれば、適宜設定することができる。

【0037】

本実施形態のアルミニウム合金線材は、素線径を、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0.1~0.5mm、中細物線の場合は0.8~1.5mmが好ましい。本実施形態のアルミニウム合金線材は、アルミニウム合金線として、単線で細くして使用できることが利点の一つであるが、複数本束ねて撚り合わせて得られるアルミニウム合金撚線として使用することもでき、本発明の製造方法を構成する上記[1]~[8]の工程のうち、[1]~[6]の各工程を順次行ったアルミニウム合金線材を複数本に束ねて撚り合わせた後に、[7]第2熱処理および[8]時効熱処理の工程を行ってもよい。

【0038】

また、本実施形態では、さらに追加の工程として、連続鋳造圧延後に、従来法で行われているような均質化熱処理を行なうことも可能である。均質化熱処理は、添加元素を均一に分散させることができるため、晶出物やその後の第3熱処理にて溶質原子クラスターや β 析出相を均一に生成しやすくなり、引張強度、伸び、引張強度に対する耐力値の向上がより安定して得られる。均質化熱処理は、加熱温度を450~600°Cにて行なうことが好ましく、より好ましくは500~600°Cである。また、均質化加熱処理における冷却は、0.1~10°C/分の平均冷却速度で徐冷することが、均一な化合物が得られやすくなる点で好ましい。

10

20

30

40

50

【0039】

上記の方法で製造されたアルミニウム合金線材によれば、引張強度は、ワイヤーハーネス組み付け時に負荷される衝撃を考慮して、200MPa以上、好ましくは250MPa以上、より好ましくは270MPa以上である。また、伸びは、13%以上、好ましくは15%以上である。導電率は、47%IACS以上、好ましくは48%IACS以上である。またワイヤーハーネス組み付け時の取扱性を考慮して、0.2%耐力(YS)と引張強度(TS)の比(YS/TS)が0.7以下に設定されている。また、結晶粒の平均結晶粒径が線径の1/3以下となる。これにより、引張強度に対する耐力を小さく、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電性を達成することができ、取り回し性が高いワイヤーハーネス用のアルミニウム線材を提供することができる。

10

【0040】

本実施形態のアルミニウム合金線材は、アルミニウム合金線として、または複数本のアルミニウム合金線を撚り合わせて得られるアルミニウム合金撚線として使用することができるとともに、さらに、アルミニウム合金線または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として使用することもでき、加えて、被覆電線と、この被覆電線の、被覆層を除去した端部に装着された端子とを具えるワイヤーハーネス(組電線)として使用することもまた可能である。

【実施例】

【0041】

本発明の実施形態を以下の実施例に基づき、さらに詳細に説明する。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。

20

(実施例、比較例)

Mg、Si、Fe、Ni及びAlと、選択的に添加するTi、B、Mn、Cr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に投入し、それらの原料が溶けて構成された溶湯を該連続鋳造圧延機内で水冷した鋳型で連続的に鋳造しながら圧延を行い、約9.5mmの棒材とした。このときの鋳造時の冷却速度は約15/sとした。これを所定の加工度が得られるように第1伸線加工を施した。次に、この第1伸線加工を施した加工材に、第1熱処理を施し、さらに0.31mmの線径まで第2伸線加工を行った。次に、表2に示す条件で第2熱処理を施した。第1熱処理における、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。第1、第2熱処理における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2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。

30

【0042】

作製した各々の実施例及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に示す。

(A) 引張強度(TS)、引張破断伸び(El)および引張強度に対する耐力(0.2%耐力/引張強度)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。引張強度は、電線と端子の接続部における圧着部の引張強度を保つため、また、車体への取付け作業時に不意に負荷される荷重に耐えられるためにも、200MPa以上を合格レベルとした。また、伸びは13%以上を合格とした。引張強度に対する耐力(0.2%耐力)の比は、車体への取付け作業の効率化のために、0.5未満を合格レベルとした。なお、表2中、「A」は引張強度250MPa以上且つ0.2%耐力(YS)/引張強度(TS)が0.5未満、「B」は引張強度200MPa以上且つ0.2%耐力/引張強度が0.5未満、「C」は引張強度200MPa以上且つ0.2%耐力/引張強度が0.7以下であることを示す。

40

【0043】

(B) 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、四端子法を用いて各3本ずつの供試材(アルミニウム合金線)について比抵抗を測定し、その平均導電

50

率を算出した。端子間距離は200mmとした。導電率は、47% IACS以上を合格レベルとした。

(C) 溶質原子クラスター及び β' 相の分析・測定方法

示差走査熱量測定(DSC)を行い、所定の温度範囲(0~400)で図1に示すようなDSC曲線を得た。次いで、150~200の範囲内において最も高い熱量を示す曲線上の点を求め(温度 T_0 ; 熱量 V_0)、その点から温度軸を平行に線を引き、その直線で表される熱量 V_0 を基準熱量とし、その直線に対して最も低いピークを示す点 P_{min} を求め(温度 T_1 ; 熱量 V_1)、基準熱量 V_0 と熱量 V_1 の差の絶対値 $|V_0 - V_1|$ を求めた。この絶対値が $0.5 \mu W/g$ 以上、好ましくは $1.0 \mu W/g$ 以上である場合は、本実施形態特性を満たすのに十分な溶質原子クラスターが生成していると判断した。

10

【0044】

また、上記基準熱量 V_0 を表す直線に対して最も高いピークを示す点 P_{max} を求め(温度 T_2 ; V_2)、基準熱量 V_0 と熱量 V_2 と差の絶対値 $|V_0 - V_2|$ を求めた。この絶対値が $50 \mu W/g$ 以上であって、かつ $1000 \mu W/g$ 以下、好ましくは $500 \mu W/g$ 以下であるときは、前述の本実施形態の特性を満たすのに十分な β' 相が生成していると判断した。

【0045】

すなわち前記絶対値が $50 \mu W/g$ 以上であることにより、所定の伸びと0.2%耐力が確保される。また $1000 \mu W/g$ 以下、好ましくは $500 \mu W/g$ 以下であることにより、所定の引張強度が確保される。

20

なお本実施例において、溶質原子クラスター及び β' 相は、DSC分析装置((株)日立ハイテクサイエンス製、装置名「X-DSC7000」)を用い、熱流速方式、サンプル量5~20mg、昇温速度10~40/minで測定・分析した。

【0046】

【表 1】

No.	組成 wt%													Mg/Si				
	Mg	Si	Fe	Cu	Ag	Au	Ni	Mn	Cr	Zr	Hf	V	Sc		Co	Ti	B	Al
1	0.10	0.18	0.70			0.10									0.010	0.005		0.6
2	0.10	0.25	1.00												0.050	0.025		0.4
3	0.20	0.30	0.50										0.10		0.010	0.005		0.7
4	0.20	0.35												0.10	0.010	0.005		0.6
5	0.20	0.50	0.20	0.05	0.05										0.010	0.005		0.4
6	0.30	0.38	0.70	0.05			0.10								0.010	0.005		0.8
7	0.30	0.50	0.20	0.05							0.05	0.05			0.010	0.005		0.6
8	0.30	0.60	0.70	0.05							0.05				0.010	0.005		0.5
9	0.30	0.75		0.10							0.05	0.05			0.010	0.005		0.4
10	0.35	0.44	0.01	0.10											0.010	0.005		0.8
11	0.35	0.53	0.20	0.10									0.05		0.010	0.005		0.7
12	0.35	0.70	0.70	0.10										0.05	0.010	0.005		0.5
13	0.35	0.87	0.20	0.50											0.010	0.005		0.4
14	0.40	0.50	0.20				0.05	0.05							0.010	0.005		0.8
15	0.40	0.60	0.10				0.05	0.05							0.010	0.005		0.7
16	0.40	0.70	0.20				0.05	0.01							0.010	0.005		0.6
17	0.40	0.80	0.30				0.05		0.50						0.010	0.005		0.5
18	0.45	0.57	0.20				0.05								0.010	0.005		0.8
19	0.45	0.60	0.20				0.05	0.10							0.030	0.015		0.8
20	0.45	0.80	0.10				0.05		0.10						0.010	0.005		0.6
21	0.45	0.90	0.20				0.10								0.010	0.005		0.5
22	0.50	0.63	0.20				0.10		0.10						0.020	0.010		0.8
23	0.50	0.75	0.20				0.10								0.010	0.005		0.7
24	0.50	0.80	0.10				0.10								0.002	0.001		0.6
25	0.50	1.00	0.30				0.10		0.01						0.010	0.005		0.5
26	0.55	0.70	0.20				0.50								0.010	0.005		0.8
27	0.55	0.85	0.20				0.50	0.50							0.010	0.005		0.6
28	0.55	1.10	0.20				0.10	0.10							0.020	0.010		0.5
29	0.60	0.75	0.20												0.010	0.005		0.8
30	0.60	0.90	0.50				0.10								0.010	0.005		0.7
31	0.60	1.20	0.20											0.05	0.010	0.005		0.5
32	0.70	0.88	0.01												0.010	0.005		0.8
33	0.80	1.00	0.20						0.50						0.010	0.005		0.8
1	0.60	0.60	0.30					0.10	0.08						0.030	0.002		1.00
2	0.67	0.52	0.13						0.20						0.020	0.004		1.29
3	1.00	1.35	0.50												0.001	0.001		0.74
4	1.20	1.20	0.30												0.010	0.005		1.00
5	0.60	0.90	0.50				0.10		0.05						0.010	0.005		0.67
6	0.60	0.75	1.50	0.10											0.010	0.005		0.80
7	0.60	0.90	0.20						0.80						0.010	0.005		0.67
8	0.60	1.20	0.20						0.80						0.010	0.005		0.80
9	0.70	0.88	0.20	0.80				0.80							0.010	0.005		0.50

実施例

比較例

(注)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。

10

20

30

40

【 表 2 】

No.	溶体化工程		時効工程		クラスタ吸熱ピーク μW/g	β相発熱ピーク μW/g	引張強度 MPa	伸び %	0.2%耐力/引張強 度	導電率 %IACS	判定
	焼純方法	温度 °C	時間 sec	温度 °C							
1	走間	520	10	150	1	960	215	13	0.7	51	C
2	走間	540	5	150	40	900	200	15	0.61	48	C
3	ソルトバス	540	20	130	60	850	205	17	0.57	51	C
4	走間	600	5	130	80	920	200	19	0.47	57	B
5	走間	600	10	130	120	840	215	20	0.46	55	B
6	走間	600	20	100	110	950	235	18	0.45	47	B
7	走間	600	30	100	140	830	220	21	0.47	51	B
8	走間	600	40	100	150	760	270	17	0.42	47	A
9	ハッチ	460	600	100	90	800	235	19	0.5	53	C
10	ハッチ	460	3600	70	100	800	205	16	0.45	52	B
11	ソルトバス	480	600	70	120	820	210	18	0.46	49	B
12	ハッチ	480	3600	70	130	770	240	20	0.45	51	B
13	ハッチ	540	600	70	155	700	260	22	0.45	46	A
14	走間	500	20	70	90	850	215	17	0.47	49	B
15	走間	500	20	70	110	870	200	18	0.49	50	B
16	走間	500	20	100	100	750	235	18	0.48	51	B
17	走間	500	20	100	70	730	260	19	0.47	45	A
18	走間	500	20	130	45	600	280	13	0.55	48	C
19	走間	500	20	130	65	650	230	14	0.56	52	C
20	ハッチ	580	1800	70	150	630	245	19	0.42	48	B
21	ハッチ	580	1800	70	170	700	235	20	0.44	47	B
22	ハッチ	580	1800	100	100	600	240	17	0.47	49	B
23	ハッチ	580	1800	100	140	620	235	18	0.5	49	C
24	ハッチ	580	1800	130	110	550	250	16	0.52	53	C
25	ソルトバス	580	1800	130	115	550	260	17	0.51	50	C
26	通電	580	0.1	70	115	580	270	19	0.44	45	A
27	通電	580	0.1	100	115	450	280	16	0.47	46	A
28	通電	580	0.1	130	95	400	285	15	0.52	50	C
29	ハッチ	600	600	50	175	710	290	18	0.45	45	A
30	ハッチ	600	7200	70	190	550	300	19	0.43	46	A
31	ハッチ	600	600	100	185	580	260	21	0.4	45	A
32	通電	500	0.05	20	80	550	210	14	0.54	49	C
33	通電	520	0.30	150	30	90	330	13	0.62	48	C
1	走間	570	20	160	観察不可	80	325	11	0.75	42	NG
2	箱型炉	530	10800	250	観察不可	50	157	8	0.80	52	NG
3	通電	540	0	50	140	150	320	15	0.44	31	NG
4	走間	540	10	150	15	30	350	3	0.85	50	NG
5	ハッチ	600	7200	200	観察不可	70	330	12	0.55	49	NG
6	ハッチ	540	600	130	観察不可	400	340	11	伸線中に断線	36	NG
7	ハッチ	540	600	50	165	640	350	18	0.44	25	NG
8	ハッチ	540	600	50	140	480	360	17	0.46	26	NG
9	ハッチ	540	600	50	140	480	360	17	0.46	26	NG

(注) 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。

【 0 0 4 8 】

表2の結果より、次のことが明らかである。実施例1～33のアルミニウム合金線は、

10
20
30
40
50

いずれもバランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を有するとともに、引張強度に対する耐力（0.2%耐力）が優れていた。具体的には、実施例1～3, 9, 18, 19, 23～25, 28, 32, 33では、Siを0.10～1.20質量%とし、低温時効熱処理により溶質原子クラスターを生成させ、引張強度200MPa以上、0.2%耐力/引張強度0.7以下、伸び13%以上、導電率45%IACSを達成した。また、実施例4～7, 10～12, 14～16, 20～22では、Siを0.10～1.20質量%とし、低温時効熱処理により溶質原子クラスター生成量を増加させ、0.2%耐力/引張強度0.5以下を達成した。実施例8, 13, 17, 26, 27, 29～31では、Siを0.10～1.20質量%とし、低温時効熱処理により溶質原子クラスターと α 相の生成量を制御し、かつ副添加元素の添加により、引張強度250MPa以上、0.2%耐力/引張強度0.5未満を達成した。

10

【0049】

これに対し、比較例1のアルミニウム合金線は、Mg/Si質量比が1.0であり、導電率が低いと共に0.2%耐力(YS)/引張強度(TS)が高く、電線の取り回し性及び導電性が劣っていた。比較例2のアルミニウム合金線は、Mg/Si質量比が1.29であり、耐力/引張強度が高く電線取り回し性が劣っていた。比較例3のアルミニウム合金線は、Siが過剰であり、導電性が劣っていた。比較例4のアルミニウム合金線は、Mgが過剰であり、Mg/Si質量比が1.00であり、耐力/引張強度が高く電線取り回し性が劣っていた。比較例5のアルミニウム合金線は、時効熱処理時の温度が高く、伸びが劣っていた。比較例6のアルミニウム合金線は、Feが過剰であり、伸線中に断線した。比較例7のアルミニウム合金線は、Zr、Vが共に過剰であり、伸び及び導電率が劣っていた。比較例8のアルミニウム合金線は、Cr、Hfが共に過剰であり、導電率が劣っていた。比較例9のアルミニウム合金線は、Cu、Mnが共に過剰であり、導電率が劣っていた。

20

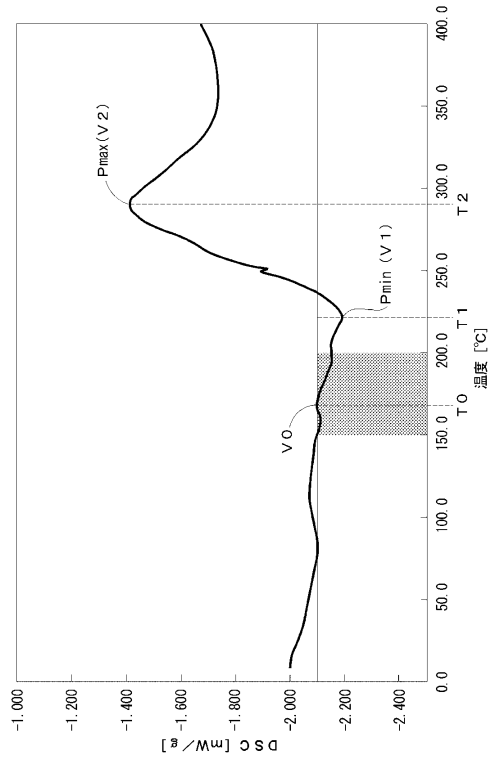
【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明のアルミニウム合金線材は、MgとSiを含有するアルミニウム合金を用いることを前提とし、素線径が0.5mm以下である極細線として使用した場合であっても、バランスの良い引張強度、伸びおよび導電率を確保しつつ、電線取り回し性を向上させた、電気配線体の導体として用いられるアルミニウム合金線材、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線材の製造方法を提供することが可能になり、移動体に搭載されるバッテリーケーブル、ワイヤー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、本発明のアルミニウム合金線材は、引張強度が高いことから従来の電線よりも電線径を細くすることも可能であり、また、取り回し性が高いことからワイヤーハーネスの取付け効率を向上させることができる。とくにワイヤーハーネスではアルミニウム合金線材を用いた電線の適用箇所が拡大傾向にあり、そのなかでも特に高強度かつ高い取り回し性が要求されるドアハーネスへの適用範囲拡大に大きく貢献するものである。

30

【 図 1 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			
<i>H 0 1 B</i>	<i>13/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 B</i>	<i>13/00</i>	<i>5 0 1 D</i>
<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 0 2</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 0 4</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 2 5</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 2 7</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 3 0 A</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 3 0 K</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 6 1 A</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 8 1</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 8 2</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 8 3</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 8 5 Z</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 8 6 B</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 1 A</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 1 B</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 1 C</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 2 A</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 2 B</i>
			<i>C 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>6 9 4 A</i>

(72)発明者 水戸瀬 賢悟
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

審査官 相澤 啓祐

(56)参考文献 特開2013-044038(JP,A)
特開2001-254160(JP,A)
特開2012-229485(JP,A)
国際公開第2013/147270(WO,A1)
特開2003-027170(JP,A)
特開2000-273567(JP,A)
特許第5367926(JP,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 2 C 2 1 / 0 0 - 2 1 / 1 8
C 2 2 F 1 / 0 4 - 1 / 0 5 7