

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7205803号

(P7205803)

(45)発行日 令和5年1月17日(2023.1.17)

(24)登録日 令和5年1月6日(2023.1.6)

(51)国際特許分類

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

F

B 2 2 F 9/08 (2006.01)

C 2 2 F

1/04

D

B 2 2 F 9/04 (2006.01)

B 2 2 F

9/08

A

B 2 2 F 5/12 (2006.01)

B 2 2 F

9/04

C

請求項の数 23 (全58頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2019-563969(P2019-563969)

(86)(22)出願日 平成30年12月21日(2018.12.21)

(86)国際出願番号 PCT/JP2018/047383

(87)国際公開番号 WO2019/135372

(87)国際公開日 令和1年7月11日(2019.7.11)

審査請求日 令和3年6月21日(2021.6.21)

(31)優先権主張番号 特願2018-768(P2018-768)

(32)優先日 平成30年1月5日(2018.1.5)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

(73)特許権者 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33

号

(74)代理人 100100147

弁理士 山野 宏

(74)代理人 100111567

弁理士 坂本 寛

(72)発明者 前田 徹

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33

号 住友電気工業株式会社内

(72)発明者 桑原 鉄也

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33

号 住友電気工業株式会社内

(72)発明者 井上 明子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アルミニウム合金線、及びアルミニウム合金線の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, 及びTaからなる群より選択される少なくとも1種の金属元素を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成と、

Alを主体とする母相と、前記母相中に存在し、Alと前記金属元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織とを有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面において、前記化合物粒子の長軸長さが500nm以下であること、及び前記化合物粒子のアスペクト比が5以下であることの少なくとも一方を満たし、

引張強さが250MPa以上であり、

導電率が50%IACS以上である、

アルミニウム合金線。

【請求項2】

前記金属元素は、Feである請求項1に記載のアルミニウム合金線。

【請求項3】

前記金属元素は、Crであり、Crの含有量は、1.5原子%以上3.3原子%以下である請求項1に記載のアルミニウム合金線。

【請求項4】

前記金属元素は、Niであり、Niの含有量は、1.6原子%以上2.4原子%以下で

ある請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 5】

前記金属元素は、C o であり、C o の含有量は、1 . 6 原子% 以上 1 . 9 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 6】

前記金属元素は、T i であり、T i の含有量は、1 . 7 原子% 以上 4 . 1 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 7】

前記金属元素は、S c であり、S c の含有量は、1 . 5 原子% 以上 3 . 1 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

10

【請求項 8】

前記金属元素は、Z r であり、Z r の含有量は、1 . 5 原子% 以上 1 . 9 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 9】

前記金属元素は、N b であり、N b の含有量は、1 . 5 原子% 以上 3 . 2 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 10】

前記金属元素は、H f であり、H f の含有量は、1 . 6 原子% 以上 4 . 6 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 11】

20

前記金属元素は、T a であり、T a の含有量は、1 . 5 原子% 以上 3 . 6 原子% 以下である請求項 1 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 12】

A l を主体とする母相と、前記母相中に存在し、A l と前記金属元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面、及び前記軸方向に直交する平面で切断した横断面の双方から一辺の長さが 5 μ m である正方形の測定領域をとり、

前記縦断面の前記測定領域における前記化合物粒子の個数が 9 5 0 個以上 1 5 0 0 個以下であり、前記縦断面の前記測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が 5 % 以上 2 0 % 以下であり、

30

前記横断面の前記測定領域における前記化合物粒子の個数が 9 5 0 個以上 4 5 0 0 個以下であり、前記横断面の前記測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が 2 . 5 % 以上 2 0 % 以下である請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 13】

前記母相中の前記金属元素の含有量が合計で 0 . 5 5 原子% 未満である請求項 12 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 14】

F e を 1 . 4 原子% 超 5 . 1 原子% 以下、N d を 0 . 0 0 6 原子% 超 0 . 1 原子% 以下含有し、残部が A l 及び不可避不純物からなる組成を有し、

40

引張強さが 3 4 5 M P a 以上であり、

導電率が 5 0 % I A C S 以上である、
アルミニウム合金線。

【請求項 15】

A l を主体とする母相と、前記母相中に存在し、A l と F e と N d とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面において、前記化合物粒子の長軸長さが 1 0 5 n m 以下であること、及び前記化合物粒子のアスペクト比が 3 . 3 未満であることの少なくとも一方を満たす請求項 14 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 16】

50

A l を主体とする母相と、前記母相中に存在し、A l と F e と N d とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面、及び前記軸方向に直交する平面で切断した横断面の双方から一辺の長さが 5 μ m である正方形の測定領域をとり、各測定領域における前記化合物粒子の個数が 2 2 0 0 個以上 3 8 0 0 個以下であり、各測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が 4 . 5 % 以上 2 0 % 以下である請求項 1 4 又は請求項 1 5 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 1 7】

前記母相中の F e の含有量が 0 . 2 8 原子%未満である請求項 1 5 又は請求項 1 6 に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 1 8】

0 . 2 % 耐力が 5 0 M P a 以上である請求項 1 から請求項 1 7 のいずれか 1 項に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 1 9】

0 . 2 % 耐力が 1 0 0 M P a 以下であること、及び破断伸びが 1 0 % 以上であることの少なくとも一方を満たす請求項 1 から請求項 1 8 のいずれか 1 項に記載のアルミニウム合金線。

【請求項 2 0】

F e , C r , N i , C o , T i , S c , Z r , N b , H f , 及び T a からなる群より選択される少なくとも 1 種の金属元素を合計で 1 . 4 原子%超 5 . 1 原子%以下含有し、残部が A l 及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、前記金属元素を固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材に前記金属元素の析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、A l と前記金属元素とを含む化合物を析出させる工程とを備え、

A l を主体とする母相と、前記母相中に存在し、A l と前記金属元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、軸方向に沿った平面で切断した縦断面において、前記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下であること、及び前記化合物粒子のアスペクト比が 5 以下であることの少なくとも一方を満たし、引張強さが 2 5 0 M P a 以上であり、導電率が 5 0 % I A C S 以上であるアルミニウム合金線を製造する、
アルミニウム合金線の製造方法。

【請求項 2 1】

F e を 1 . 4 原子%超 5 . 1 原子%以下、N d を 0 . 0 0 6 原子%超 0 . 1 原子%以下含有し、残部が A l 及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、F e 及び N d を固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材に F e 及び N d の析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、A l と F e と N d とを含む化合物を析出させる工程とを備え、

引張強さが 3 4 5 M P a 以上であり、導電率が 5 0 % I A C S 以上であるアルミニウム合金線を製造する、
アルミニウム合金線の製造方法。

【請求項 2 2】

前記第一の素材を製造する工程では、前記アルミニウム基合金からなる溶湯を急冷して、薄帯状又は粉末状の前記第一の素材を製造する請求項 2 0 又は請求項 2 1 に記載のアルミニウム合金線の製造方法。

【請求項 2 3】

前記伸線材に熱処理を施す工程の加熱温度は、3 0 0 以上である請求項 2 0 から請求項 2 2 のいずれか 1 項に記載のアルミニウム合金線の製造方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、アルミニウム合金線、及びアルミニウム合金線の製造方法に関する。

本出願は、2018年01月05日付の日本国出願の特願2018-000768に基づく優先権を主張し、前記日本国出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

【背景技術】

【0002】

電線用導体線として、特許文献1は、アルミニウム合金を特定の組成とすると共に軟化することで、高強度で高靱性であり、導電率も高いアルミニウム合金線を開示する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2010-067591号公報

【発明の概要】

【0004】

本開示のアルミニウム合金線は、

Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, 及びTaからなる群より選択される少なくとも1種の金属元素を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有し、

20

引張強さが250MPa以上であり、

導電率が50%IACS以上である。

【0005】

別の本開示のアルミニウム合金線は、

Feを1.4原子%超5.1原子%以下、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有し、

引張強さが345MPa以上であり、

導電率が50%IACS以上である。

【0006】

本開示のアルミニウム合金線の製造方法は、

30

Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, 及びTaからなる群より選択される少なくとも1種の金属元素を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、前記金属元素を固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材に前記金属元素の析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、Alと前記金属元素とを含む化合物を析出させる工程とを備える。

【0007】

別の本開示のアルミニウム合金線の製造方法は、

40

Feを1.4原子%超5.1原子%以下、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、Fe及びNdを固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材にFe及びNdの析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、AlとFeとNdとを含む化合物を析出させる工程とを備える。

【発明を実施するための形態】

【0008】

[本開示が解決しようとする課題]

50

電線用導体線として、導電性に優れつつ、より高強度なアルミニウム合金線が望まれている。

【 0 0 0 9 】

特許文献 1 に記載のアルミニウム合金線は、破断伸びが 1 0 % 以上であり、高靱性であるものの、引張強さが 2 0 0 M P a 以下である。例えば、イヤホン等に利用される極細線（例、線径 1 0 0 μ m 以下）では、音振動等によって切断しないように、破断伸びが 1 0 % 以上を満たしつつ、繰り返しの屈曲に対する疲労強度が高いことが望まれる。引張強さを高めると疲労強度も高められる傾向にある。しかし、特許文献 1 では、F e の含有量を 2 . 2 質量 % 以下としており、強度の向上には限界がある。従って、引張強さがより高いアルミニウム合金線、特に 2 5 0 M P a 以上の引張強さを有するアルミニウム合金線が望まれる。引張強さに加えて、破断伸び等も高く伸びにも優れ、曲げ等が行い易いアルミニウム合金線がより好ましい。

10

【 0 0 1 0 】

また、導体線という用途では、導電率が高いことが望まれる。一般に、合金中の添加元素の含有量を多くすれば、強度が向上する傾向にある。しかし、固溶強化型の添加元素であれば、添加元素の含有量の増加に伴って導電率の低下を招く。合金の母相中における添加元素の固溶量が多くなるからである。析出可能な添加元素であっても、析出物の状態によっては導電率の低下を招く場合がある。例えば、析出物が粗大粒子であったり、凝集して塊状になっていたり、連続した長いものであったりすると、A l の導電パスを妨げて、電気抵抗の増大を招く。ひいては、導電率が低下する。また、例えば、析出可能な添加元素を多く含む合金で特許文献 1 に記載の連続鋳造圧延材やピレット鋳造材を製造すれば、これらの鋳造材等は上述の粗大粒子を含み易い。上記粗大粒子は破断の起点となり易い。そのため、上記鋳造材等を伸線に供すると、伸線性の低下、ひいては伸線材の生産性の低下を招く。また、伸線材中に上記粗大粒子が残存したり、伸線時に引き伸ばされてより長い粒子が存在し易くなる。そのため、最終製品の導体線は、使用時等で引っ張られたり、曲げられたり、更には繰り返しの屈曲を受けたりすると上記粗大粒子等を起点として破断し易く、強度や疲労強度の低下を招く。

20

【 0 0 1 1 】

そこで、本開示は、高強度で導電性に優れるアルミニウム合金線を提供することを目的の一つとする。また、本開示は、高強度で導電性に優れるアルミニウム合金線を製造できるアルミニウム合金線の製造方法を提供することを別の目的の一つとする。

30

【 0 0 1 2 】

[本開示の効果]

本開示のアルミニウム合金線は、高強度で導電性に優れる。本開示のアルミニウム合金線の製造方法は、高強度で導電性に優れるアルミニウム合金線を製造できる。

【 0 0 1 3 】

[本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

(1) 本開示の一態様に係るアルミニウム合金線は、

F e , C r , N i , C o , T i , S c , Z r , N b , H f , 及び T a からなる群より選択される少なくとも 1 種の金属元素を合計で 1 . 4 原子 % 超 5 . 1 原子 % 以下含有し、残部が A l 及び不可避不純物からなる組成を有し、

40

引張強さが 2 5 0 M P a 以上であり、

導電率が 5 0 % I A C S 以上である。

【 0 0 1 4 】

上記に列挙する金属元素（以下、第一元素と呼ぶことがある）は、後段で詳細に説明するように、A l と二元の金属間化合物を形成して析出し易い元素である。本開示のアルミニウム合金線（以下、A l 合金線と呼ぶことがある）をなすアルミニウム基合金（以下、A l 基合金と呼ぶことがある）は、添加元素として第一元素を上述の特定の範囲で含む。

【 0 0 1 5 】

50

上述の A l 基合金は F e 等の第一元素を比較的多く含む。第一元素は主として析出物として存在する。そのため、本開示の A l 合金線は、引張強さが 2 5 0 M P a 以上と高く、高強度である上に、導電率が 5 0 % I A C S 以上と高く、導電性に優れる。また、本開示の A l 合金線は、引張強さが上述のように高いため、繰り返しの屈曲に対する疲労強度も高い。更に、本開示の A l 合金線は、曲げに対する剛性が高くなり過ぎることを抑制してスプリングバックを低減できる。このような本開示の A l 合金線は、電線用導体等に好適に利用できる。

【 0 0 1 6 】

本開示の A l 合金線は、後述する本開示の一態様に係る A l 合金線の製造方法によって製造すると、伸線時に破断し難く、生産性に優れる。

10

【 0 0 1 7 】

(2) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、F e である形態が挙げられる。

【 0 0 1 8 】

上記形態は、高強度で導電性に優れる上に、製造性にも優れる。第一元素が F e であると、製造過程で溶湯を作製し易いからである。また、伸線後に熱処理を施すことで析出物を適切に析出し易く、工業的生産性に優れるからである。更に、F e は入手し易い元素であるため、上記形態は製造コストを低減できる。

【 0 0 1 9 】

(3) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、C r であり、C r の含有量は、1 . 5 原子% 以上 3 . 3 原子% 以下である形態が挙げられる。

20

【 0 0 2 0 】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。また、上記形態は、製造性にも優れる。C r は工業的生産性の点で利用し易いからである。

【 0 0 2 1 】

(4) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、N i であり、N i の含有量は、1 . 6 原子% 以上 2 . 4 原子% 以下である形態が挙げられる。

【 0 0 2 2 】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。また、上記形態は、製造性にも優れる。N i は工業的生産性の点で利用し易いからである。

30

【 0 0 2 3 】

(5) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、C o であり、C o の含有量は、1 . 6 原子% 以上 1 . 9 原子% 以下である形態が挙げられる。

【 0 0 2 4 】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。また、上記形態は、製造性にも優れる。C o は工業的生産性の点で利用し易いからである。

【 0 0 2 5 】

(6) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、T i であり、T i の含有量は、1 . 7 原子% 以上 4 . 1 原子% 以下である形態が挙げられる。

40

【 0 0 2 6 】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、A l と T i とを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。また、T i は、工業的生産性の点で利用し易く、上記形態は製造性にも優れる。

【 0 0 2 7 】

(7) 本開示の A l 合金線の一例として、

前記金属元素は、S c であり、S c の含有量は、1 . 5 原子% 以上 3 . 1 原子% 以下で

50

ある形態が挙げられる。

【0028】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、AlとScとを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。

【0029】

(8) 本開示のAl合金線の一例として、

前記金属元素は、Zrであり、Zrの含有量は、1.5原子%以上1.9原子%以下である形態が挙げられる。

【0030】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、AlとZrとを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。

10

【0031】

(9) 本開示のAl合金線の一例として、

前記金属元素は、Nbであり、Nbの含有量は、1.5原子%以上3.2原子%以下である形態が挙げられる。

【0032】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、AlとNbとを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。

【0033】

(10) 本開示のAl合金線の一例として、

前記金属元素は、Hfであり、Hfの含有量は、1.6原子%以上4.6原子%以下である形態が挙げられる。

20

【0034】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、AlとHfとを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。

【0035】

(11) 本開示のAl合金線の一例として、

前記金属元素は、Taであり、Taの含有量は、1.5原子%以上3.6原子%以下である形態が挙げられる。

【0036】

上記形態は、高強度で導電性に優れる。特に、AlとTaとを含む化合物は微細になり易い。そのため、上記形態は強度により優れる。

30

【0037】

(12) 本開示のAl合金線の一例として、

Alを主体とする母相と、前記母相中に存在し、Alと前記金属元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面において、前記化合物粒子の長軸長さが500nm以下であること、及び前記化合物粒子のアスペクト比が5以下であることの少なくとも一方を満たす形態が挙げられる。

上記長軸長さ、アスペクト比の測定方法は、後述の試験例1で説明する。

40

【0038】

上記形態は、Alと第一元素とを含む化合物粒子の分散強化による強度の向上効果、及び母相への第一元素の固溶量の低減による高い導電率の具備効果を適切に有し、高強度で導電性に優れる。特に、上記形態は、縦断面において上記化合物粒子の長軸長さが500nm以下と短い。又は、上記形態は、縦断面において上記化合物粒子のアスペクト比が5以下と小さい。定性的には上記化合物粒子が球状に近い。上記化合物粒子が短かったり、球状に近かったりすると母相中に均一的に分散し易い。上記形態は、上記化合物粒子の均一的な分散によって強度をより高められる。また、上記形態は、スプリングバックをより低減したり、上記化合物粒子によるAlの導電パスの障害を低減して、導電性により優れたりする。その上、上記形態は、Al合金線の軸方向に交差する方向から力を受けた場合

50

に上記化合物粒子が破断の起点となり難い。そのため、上記形態は、曲げ易く屈曲性に優れたり、疲労強度により優れたりする。これらの効果は、上記化合物粒子の長軸長さが500nm以下であり、かつアスペクト比が5以下であると、得易い。このように上記化合物粒子が適切に存在する上記形態は、破断伸びも高い傾向にあり、高強度で高靱性である。

【0039】

(13) 本開示のAl合金線の一例として、

Alを主体とする母相と、前記母相中に存在し、Alと前記金属元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面、及び前記軸方向に直交する平面で切断した横断面の双方から一辺の長さが5μmである正方形の測定領域をとり、

前記縦断面の前記測定領域における前記化合物粒子の個数が950個以上1500個以下であり、前記縦断面の前記測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が5%以上20%以下であり、

前記横断面の前記測定領域における前記化合物粒子の個数が950個以上4500個以下であり、前記横断面の前記測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が2.5%以上20%以下である形態が挙げられる。

上記個数、面積比率の測定方法は、後述の試験例1で説明する。

【0040】

上記形態は、Alと第一元素とを含む化合物粒子の分散強化による強度の向上効果、及び母相への第一元素の固溶量の低減による高い導電率の具備効果を適切に有し、強度及び導電性により優れる。特に、上記形態は、縦断面及び横断面における化合物粒子の存在量が類似しており、化合物粒子の存在状態の方向性（異方性）が小さいといえる。そのため、上記形態は、曲げ易く屈曲性に優れたり、疲労強度により優れたり、曲げに対して加工硬化し難かったりする。また、上記形態は、上記化合物粒子が微細に存在するといえる。そのため、上記形態は、微細な化合物粒子の分散によって強度をより高められる。更に、上記形態は、スプリングバックをより低減したり、上記化合物粒子によるAlの導電パスの障害を低減して、導電性により優れたりする。このように化合物粒子が適切に存在する上記形態は、破断伸びも高い傾向にあり、高強度で高靱性である。

【0041】

(14) 上記化合物粒子を含む組織を有するAl合金線の一例として、

前記母相中の前記金属元素の含有量が合計で0.55原子%未満である形態が挙げられる。

【0042】

上記形態は、母相中の第一元素の固溶量が非常に少なく、母相中のAlの純度が高いといえ、導電性により優れる。かつ、上記形態では、第一元素が主として化合物粒子として存在する。そのため、上記形態は、上記化合物粒子の分散強化による強度の向上効果を適切に得られて、強度により優れる。

【0043】

(15) 本開示の別の態様に係るアルミニウム合金線（以下、本開示の第二のAl合金線と呼ぶことがある）は、

Feを1.4原子%超5.1原子%以下、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有し、

引張強さが345MPa以上であり、

導電率が50%IACS以上である。

【0044】

本発明者らは、Feを上記の特定の範囲で含むAl基合金に対して、更に、微量のNdを含むと、引張強さが大きく向上し、強度により優れるとの知見を得た。本開示の第二のAl合金線は、この知見に基づくものである。

【0045】

本開示の第二のAl合金線では、第一元素がFeであるAl基合金をベースとし、第二

10

20

30

40

50

元素として微量のNdを含む。このAl基合金は、Feを比較的多く含む。Feは主として析出物として存在する。Ndは、このFeを含む析出物（AlとFeとを含む化合物）に含まれる。また、Ndを含む析出物（AlとFeとNdとを含む化合物）は、Ndを含まない場合に比較して微細である。本開示の第二のAl合金線は、微細な析出物の分散強化によって、引張強さが345MPa以上と非常に高く、高強度である。また、析出物が微細であるため、Alの導電パスを阻害し難い。更に、Ndの含有量が微量であり、Ndの含有による導電率の低下を抑制し易い。このような本開示の第二のAl合金線は、導電率が50%IACS以上と高く、導電性に優れる。更に、本開示の第二のAl合金線は、引張強さが高いことで、繰り返しの屈曲に対する疲労強度も高い。加えて、本開示の第二のAl合金線は、曲げに対する剛性が高くなり過ぎることを抑制してスプリングバックを低減できる。このような本開示の第二のAl合金線は、電線用導体等に好適に利用できる。

10

【0046】

本開示の第二のAl合金線は、後述する本開示の別の態様に係るAl合金線の製造方法によって製造すると、伸線時に破断し難く、生産性に優れる。

【0047】

(16) 本開示の第二のAl合金線の一例として、

Alを主体とする母相と、前記母相中に存在し、AlとFeとNdとを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面において、前記化合物粒子の長軸長さが105nm以下であること、及び前記化合物粒子のアスペクト比が3.3未満であることの少なくとも一方を満たす形態が挙げられる。

20

【0048】

上記形態は、AlとFeとNdとを含む化合物粒子の分散強化による強度の向上効果、及び母相へのFe及びNdの固溶量の低減による高い導電率の具備効果を適切に有し、高強度で導電性に優れる。特に、上記形態は、縦断面において上記化合物粒子の長軸長さが105nm以下と短い。又は、上記形態は、縦断面において上記化合物粒子のアスペクト比が3.3未満と小さい。定性的には上記化合物粒子が球状に近い。このような上記化合物粒子は、上述のように母相中に均一的に分散し易い。そのため、上記形態は、上記化合物粒子の均一的な分散による効果を得易い。上記効果は、強度の向上、スプリングバックの低減、導電性の向上といった効果が挙げられる。また、上記形態は、上記化合物粒子が破断の起点になり難いことによる効果を得易い。上記効果は、良好な屈曲性、疲労強度の向上といった効果が挙げられる。これらの効果は、上記化合物粒子の長軸長さが105nm以下であり、かつアスペクト比が3.3未満であると、得易い。このように上記化合物粒子が適切に存在する上記形態は、破断伸びも高い傾向にあり、高強度で高靱性である。

30

【0049】

(17) 本開示の第二のAl合金線の一例として、

Alを主体とする母相と、前記母相中に存在し、AlとFeとNdとを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有し、

軸方向に沿った平面で切断した縦断面、及び前記軸方向に直交する平面で切断した横断面の双方から一辺の長さが5μmである正方形の測定領域をとり、各測定領域における前記化合物粒子の個数が2200個以上3800個以下であり、各測定領域の面積に対する前記化合物粒子の合計面積の比率が4.5%以上20%以下である形態が挙げられる。

40

【0050】

上記形態は、AlとFeとNdとを含む化合物粒子の分散強化による強度の向上効果、及び母相へのFe及びNdの固溶量の低減による高い導電率の具備効果を適切に有し、強度及び導電性により優れる。特に、上記形態は、縦断面及び横断面の双方における化合物粒子の存在量が概ね同様であり、化合物粒子の存在状態の方向性（異方性）が小さい又は実質的に無いといえる。そのため、上記異方性が小さいことによる効果を得易い。上記効果は、良好な屈曲性、疲労強度の向上、曲げによる加工硬化のし難さの向上といった効果が挙げられる。また、上記形態は、Ndを含まない場合と比較して、上記化合物粒子がよ

50

り微細であるといえる。そのため、上記形態は、微細な化合物粒子の分散による効果を得易い。上記効果は、強度の向上、スプリングバックの低減、導電性の向上といった効果が挙げられる。このように化合物粒子が適切に存在する上記形態は、破断伸びも高い傾向にあり、高強度で高靱性である。

【0051】

(18) 本開示の第二のA1合金線の一例として、

前記母相中のFeの含有量が0.28原子%未満である形態が挙げられる。

【0052】

上記形態は、母相中のFeの固溶量が非常に少なく、母相中のA1の純度が高いといえ、導電性により優れる。かつ、上記形態では、Feが主として化合物粒子として存在する。そのため、上記形態は、上記化合物粒子の分散強化による強度の向上効果を適切に得られて、強度により優れる。

10

【0053】

(19) 本開示のA1合金線の一例として、

0.2%耐力が50MPa以上である形態が挙げられる。

【0054】

上記形態は、実使用環境における切断耐久性に優れる。

【0055】

(20) 本開示のA1合金線の一例として、

0.2%耐力が100MPa以下であること、及び破断伸びが10%以上であることの少なくとも一方を満たす形態が挙げられる。

20

【0056】

上記形態は、上述のように引張強さ及び導電率が高い上に、0.2%耐力が100MPa以下と高過ぎなかったり、破断伸びが10%以上と高かったりする。このような上記形態は、曲げ易く屈曲性に優れたり、疲労強度により優れたり、衝撃を受けた場合に破断し難かったりする。また、0.2%耐力が100MPa以下であるA1合金線が端子付き電線の導体線等に利用されて圧着端子等が取り付けられた場合には、端子との接続強度に優れる。

【0057】

(21) 本開示の一態様に係るアルミニウム合金線(A1合金線)の製造方法(以下、第一の製法と呼ぶことがある)は、

30

Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, 及びTaからなる群より選択される少なくとも1種の金属元素を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含有し、残部がA1及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、前記金属元素を固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材に前記金属元素の析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、A1と前記金属元素とを含む化合物を析出させる工程とを備える。

【0058】

40

本発明者らは、Feの含有量が特許文献1(2.2質量%)よりも多いA1基合金について、伸線時に断線し難く、A1合金線を生産性よく製造可能な条件を検討した。その結果、可動鋳型を利用する従来の連続鋳造法や固定鋳型を利用する従来の鋳造法よりも急冷が可能な方法を利用して、Feが固溶したものをを用いれば断線し難く、伸線加工を良好に行えたとの知見を得た。また、伸線後に熱処理を施してFeを析出させれば、導電性に優れる上に、高強度なA1合金線が得られるとの知見を得た。上記熱処理によって伸線時の加工歪み等を除去できるため、導電性をより高められる上に、伸びも高められて曲げ等も行い易い。更に、Feが固溶しているため、上述の伸線時の析出物の引き伸ばしも生じない。この点から、長い析出物粒子による屈曲性の低下及び長い析出物粒子によるA1の導電パスの阻害等も防止できる。従って、屈曲性にも優れる上に導電性により優れるA1合

50

金線が得られる。このFeに関する事項は、後述する特定の条件(I)，(II)を満たす第一元素(Feを除く)についても同様にいえる。本開示のAl合金線の製造方法は、これらの知見に基づくものである。

【0059】

本開示のAl合金線の製造方法は、第一元素の含有量が1.4原子%超(第一元素がFeの場合には3質量%以上)と多いAl基合金を用いる。但し、伸線加工に供する素材は、第一元素が実質的に析出していないものとする。そのため、伸線加工を良好に行える。また、伸線後に熱処理を行って第一元素を析出させる。そのため、Alと第一元素とを含む化合物を微細な粒子として分散させられる。従って、本開示のAl合金線の製造方法は、微細な化合物粒子の分散強化による強度の向上効果によって、強度に優れるAl合金線を製造できる。

10

【0060】

また、第一元素の析出により、母相中の第一元素の固溶量を低減できる。上述の化合物粒子が微細であるためAlの導電パスを妨げ難い。従って、本開示のAl合金線の製造方法は、導電性に優れるAl合金線を製造できる。

【0061】

このような本開示のAl合金線の製造方法によれば、高強度で導電性に優れるAl合金線、代表的には引張強さが250MPa以上であり、導電率が50%IACS以上であるAl合金線を生産性よく製造できる。

【0062】

(22)本開示の別の態様に係るアルミニウム合金線(Al合金線)の製造方法(以下、第二の製法と呼ぶことがある)は、

20

Feを1.4原子%超5.1原子%以下、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、Fe及びNdを固溶した第一の素材を製造する工程と、

前記第一の素材にFe及びNdの析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程と、

前記伸線材に熱処理を施して、AlとFeとNdとを含む化合物を析出させる工程とを備える。

【0063】

30

本開示の第二の製法は、Feの含有量が1.4原子%超と多い上にNdを含むAl基合金を用いる。但し、伸線加工に供する素材は、Fe及びNdが実質的に析出していないものとする。そのため、伸線加工を良好に行える。また、伸線後に熱処理を行ってFe及びNdを析出させる。そのため、AlとFeとNdとを含む化合物を微細な粒子として分散させられる。従って、第二の製法は、上述の第一の製法と同様に、微細な化合物粒子の分散強化による強度の向上効果によって、強度に優れるAl合金線を製造できる。特に、Ndを含むことで、上記化合物粒子がより微細になり易い。そのため、第二の製法は、強度により優れるAl合金線を製造できる。

【0064】

また、Fe及びNdの析出により、母相中のFe及びNdの固溶量を低減できる。更に、上述のように化合物粒子が微細であるため、Alの導電パスを妨げ難い。従って、第二の製法は、上述の第一の製法と同様に、導電性に優れるAl合金線を製造できる。

40

【0065】

このような第二の製法によれば、より高強度で導電性に優れるAl合金線、代表的には引張強さが345MPa以上であり、導電率が50%IACS以上であるAl合金線を生産性よく製造できる。

【0066】

(23)本開示のAl合金線の製造方法の一例として、

前記第一の素材を製造する工程では、前記アルミニウム基合金からなる溶湯を急冷して、薄帯状又は粉末状の前記第一の素材を製造する形態が挙げられる。ここでの急冷とは、

50

上記溶湯の冷却速度を 10,000 / 秒以上とする。

【0067】

上記形態は、いわゆる液体急凝固法やアトマイズ法等を利用して第一の素材を製造する。このような上記形態は、第一元素、又は Fe 及び Nd が固溶した素材を適切に得られる。

【0068】

(24) 本開示の Al 合金線の製造方法の一例として、

前記伸線材に熱処理を施す工程の加熱温度は、300 以上である形態が挙げられる。

【0069】

上記形態は、熱処理工程での加熱温度を 300 以上とすることで、比較的短時間でも第一元素、又は Fe 及び Nd を析出させ易い。熱処理時間の短縮によって、上記形態は、高強度で導電性に優れる Al 合金線をより生産性よく製造できる。また、300 以上の熱処理を行うことで、Al 基合金が安定な結晶構造をとる。従って、上記形態は、高温使用環境でも強度や導電率の経年劣化が起こり難く、長期に亘り高強度で導電性に優れる Al 合金線を製造できる。

10

【0070】

[本開示の実施形態の詳細]

以下、本開示の実施の形態を詳細に説明する。

【0071】

[アルミニウム合金線]

20

(概要)

実施形態のアルミニウム合金線 (Al 合金線) は、アルミニウム基合金 (Al 基合金) からなる線材である。実施形態の Al 合金線は、代表的には、単線、撚線、又は圧縮撚線の状態で電線の導体等に利用される。上記撚線は、複数の Al 合金線が撚り合されてなる。上記圧縮撚線は、上記撚線が所定の形状に圧縮成形されてなる。

【0072】

実施形態の Al 合金線は、特定の金属元素、即ち以下の第一元素、又は第一元素及び第二元素 (Nd) を特定の範囲で含むという特定の組成を有する。実施形態の Al 合金線は、特定の金属元素が主として析出物として存在することで、高強度で導電性に優れる。具体的には、実施形態の第一の Al 合金線は、以下の第一元素を合計で 1.4 原子% 超 5.1 原子% 以下含有し、残部が Al 及び不可避不純物からなる組成を有し、引張強さが 250 MPa 以上であり、導電率が 50 % IACS 以上である。第一元素は、Fe (鉄) , Cr (クロム) , Ni (ニッケル) , Co (コバルト) , Ti (チタン) , Sc (スカンジウム) , Zr (ジルコニウム) , Nb (ニオブ) , Hf (ハフニウム) , 及び Ta (タンタル) からなる群より選択される少なくとも 1 種の金属元素である。実施形態の第二の Al 合金線は、Fe を 1.4 原子% 超 5.1 原子% 以下、Nd (ネオジム) を 0.006 原子% 超 0.1 原子% 以下含有し、残部が Al 及び不可避不純物からなる組成を有し、引張強さが 345 MPa 以上であり、導電率が 50 % IACS 以上である。

30

以下、より詳細に説明する。

【0073】

(組成)

実施形態の第一の Al 合金線を構成する Al 基合金は、例えば、添加元素として 1 種の第一元素を含み、Al と 1 種の第一元素との二元合金からなるものが挙げられる。実施形態の第二の Al 合金線を構成する Al 基合金は、第一元素の一つである Fe を含み、Al と Fe との二元合金をベースとし、更に、第二元素として Nd を含む。各第一元素は、以下の条件 (I) , (II) を満たす。

【0074】

(I) Al に対して、660 、 1 気圧の条件での固溶量 (平衡状態) が 0.5 質量% 以下である。

(II) Al と金属間化合物を形成し、Al と 1 種の第一元素との二元の金属間化合物の

50

うち、第一元素の元素比率が最も低い二元の金属化合物の融点又は分解温度が 800 以上である。

【0075】

上記条件 (I), (II) を満たす第一元素を上述の特定の範囲で含む Al 基合金を、例えば後述するように製造過程で溶湯を急冷すれば母相に第一元素を固溶できる。また、例えば、第一元素を固溶した Al 基合金に対して、伸線前後に熱処理を施せば、第一元素を母相から、Al と第一元素とを含む化合物として析出できる。この化合物の融点又は分解温度は母相よりも高く、安定性に優れる。このことから、上記化合物を生成し易い。

【0076】

Al 基合金における第一元素の含有量が多いほど、上記化合物の量を多くし易く、強度を向上し易い。定量的には、250 MPa 以上の引張強さを有することができる。また、第一元素の含有量が多くても第一元素が主として上記化合物として存在すれば (上記化合物の量が多ければ)、導電性に優れる。母相中の第一元素の固溶量を低減して、母相中の Al の純度を高められるからである。上記化合物が微細であったり、球状に近かったりすれば、Al の導電パスをより阻害し難く、導電性により優れる。

【0077】

一方、Al 基合金における第一元素の含有量がある程度少なければ、上記化合物の存在による Al の導電パスの阻害を低減して、高い導電性を確保し易い。定量的には、50% IACS 以上の導電率を有することができる。また、実施形態の Al 合金線を後述する実施形態の Al 合金線の製造方法によって製造する場合には、Al 基合金に含まれる第一元素の実質的に全量を固溶して、上記化合物が実質的に析出していないものを製造し易い。この点で伸線加工等を行い易く製造性にも優れる。

【0078】

これらのことから、Al 基合金を 100 原子%として、第一元素の含有量を合計で 1.4 原子%超 5.1 原子%以下とする。Al 基合金の添加元素として 1 種の第一元素を含む二元合金である場合、各第一元素の含有量は、以下の範囲を満たすことが挙げられる。Al 基合金の添加元素として複数種の第一元素を含む場合、各第一元素の含有量が以下の範囲を満たしつつ、合計で 1.4 原子%超 5.1 原子%以下を満たすことが挙げられる。以下、元素ごとに説明する。

【0079】

Fe

第一元素が Fe である場合、Fe の含有量は、1.4 原子%超 5.1 原子%以下が挙げられる。Fe の含有量が上記範囲であれば、Fe が主として Al との化合物として存在することで、高強度で導電性に優れる Al 合金線にできる。Fe の含有量が 1.45 原子%以上、更に 1.7 原子%以上、1.9 原子%以上、2.0 原子%以上であれば、より高強度な Al 合金線にできる。Fe の含有量が 5.0 原子%以下、更に 4.8 原子%以下、4.6 原子%以下であれば、導電性により優れる Al 合金線にできる。例えば、55% IACS 以上という高い導電率を有する Al 合金線にできる。

【0080】

第一元素が Fe である形態は、以下の理由により、工業的量産に適しており、生産性に優れて好ましい。

(1) Fe は、製造過程で Al と Fe とを含む溶湯を作製し易い。

(2) Fe と Al とを含む化合物 (例、 $Al_{13}Fe_4$ 等) の融点が 1100 以上と高く、安定性に優れる。そのため、伸線後に熱処理を施すことで、上記化合物を良好に析出できる。

(3) Fe は入手し易い元素であり、製造コストも低減できる。

【0081】

Fe を 1.4 原子%超 5.1 原子%以下含有する二元の Al 基合金は、Fe の含有量を質量割合に換算すると、Fe を 3 質量%以上 10 質量%以下含有する二元の Al 基合金に概ね相当する。Fe の含有量が 3 質量%以上であれば、特許文献 1 の 2.2 質量%よりも

10

20

30

40

50

多い。F eを多く含むため、第一元素がF eである形態は、高強度である。F eの含有量が3.5質量%以上、更に3.8質量%以上、4.0質量%以上であれば、より高強度なA l合金線にできる。F eの含有量が9.8質量%以下、更に9.5質量%以下、9.0質量%以下であれば、導電性により優れるA l合金線にできる。なお、上記の換算は、A lの原子量を26.98、F eの原子量を55.85として算出した。

【0082】

N d

第一元素がF eである場合に更にN dを含んでもよい。N dの含有量は、A l基合金を100原子%として、0.006原子%超0.1原子%以下が挙げられる。又は、N dの含有量は、A lとN dとの合計量を100原子%として、0.006原子%超0.1原子%以下が挙げられる。N dの含有量が上記範囲であれば、N dは、主として、A lとF eとの化合物に含まれて存在する。そのため、N dの含有に起因する導電率の増大を招き難い。また、A lとF eとN dとを含む化合物は、A lとF eとを含む化合物よりも、微細になり易い。そのため、F eとN dとを上述の範囲で含む形態は、導電性に優れる上に、より高強度なA l合金線にできる。例えば、350MPa以上、更に360MPa以上という高い引張強さを有するA l合金線にできる。また、N dは、融点がF eよりも低いいため、製造過程でA lとF eとN dとを含む溶湯を作製し易い。この点で、F eとN dとを上述の範囲で含む形態は、製造性にも優れる。

10

【0083】

N dの含有量が0.008原子%以上、更に0.010原子%以上であれば、より高強度なA l合金線にできる。N dの含有量が0.099原子%以下であれば、導電性により優れるA l合金線にできる。

20

【0084】

C r

第一元素がC rである場合、C rの含有量は、1.5原子%以上3.3原子%以下が挙げられる。C rの含有量が上記範囲であれば、C rが主としてA lとの化合物として存在することで、例えば引張強さが253MPa以上、導電率が55%IACS以上を両立する優れた性能のA l合金線にできる。上記範囲内で、C rの含有量が多くなれば、例えば300MPa以上、更に310MPa以上という高い引張強さを有するA l合金線にできる。上記範囲内で、C rの含有量が少なくなれば、例えば、57%IACS以上という高い導電率を有するA l合金線にできる。C rは、工業的生産性の観点から利用し易い。この点で、第一元素がC rである形態は、製造性にも優れる。

30

【0085】

N i

第一元素がN iである場合、N iの含有量は、1.6原子%以上2.4原子%以下が挙げられる。N iの含有量が上記範囲であれば、N iが主としてA lとの化合物として存在することで、例えば引張強さが290MPa以上、導電率が55%IACS以上を両立する優れた性能のA l合金線にできる。上記範囲内で、N iの含有量が多くなれば、例えば300MPa以上、更に320MPa以上という高い引張強さを有するA l合金線にできる。上記範囲内で、N iの含有量が少なくなれば、例えば、56%IACS以上という高い導電率を有するA l合金線にできる。N iは、工業的生産性の観点から利用し易い。この点で、第一元素がN iである形態は、製造性にも優れる。

40

【0086】

C o

第一元素がC oである場合、C oの含有量は、1.6原子%以上1.9原子%以下が挙げられる。C oの含有量が上記範囲であれば、C oが主としてA lとの化合物として存在することで、例えば引張強さが250MPa以上、導電率が52%IACS以上を両立する優れた性能のA l合金線にできる。上記範囲内で、C oの含有量が多くなれば、例えば300MPa以上、更に310MPa以上という高い引張強さを有するA l合金線にできる。上記範囲内で、C oの含有量が少なくなれば、例えば、56%IACS以上、更に5

50

8 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。C o は、工業的生産性の観点から利用し易い。この点で、第一元素が N i である形態は、製造性にも優れる。

【 0 0 8 7 】

T i

第一元素が T i である場合、T i の含有量は、1 . 7 原子 % 以上 4 . 1 原子 % 以下が挙げられる。T i の含有量が上記範囲であれば、T i が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 2 7 0 M P a 以上、導電率が 5 0 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、T i の含有量が多くなれば、例えば 3 0 0 M P a 以上、更に 3 4 0 M P a 以上、3 6 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、T i の含有量が少なくなれば、例えば、5 5 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と T i との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が T i である形態は、強度をより高め易い。また、T i は、工業的生産性の観点から利用し易い。この点で、第一元素が T i である形態は、製造性にも優れる。

10

【 0 0 8 8 】

S c

第一元素が S c である場合、S c の含有量は、1 . 5 原子 % 以上 3 . 1 原子 % 以下が挙げられる。S c の含有量が上記範囲であれば、S c が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 3 0 0 M P a 以上、更に 3 1 0 M P a 以上、導電率が 5 3 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、S c の含有量が多くなれば、例えば 3 6 0 M P a 以上、更に 3 8 0 M P a 以上、3 9 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、S c の含有量が少なくなれば、例えば、5 5 % I A C S 以上、更に 5 7 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と S c との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が S c である形態は、強度をより高め易い。

20

【 0 0 8 9 】

Z r

第一元素が Z r である場合、Z r の含有量は、1 . 5 原子 % 以上 1 . 9 原子 % 以下が挙げられる。Z r の含有量が上記範囲であれば、Z r が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 2 7 0 M P a 以上、導電率が 5 0 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、Z r の含有量が多くなれば、例えば 3 0 0 M P a 以上、更に 3 4 0 M P a 以上、3 6 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、Z r の含有量が少なくなれば、例えば、5 2 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と Z r との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が Z r である形態は、強度をより高め易い。

30

【 0 0 9 0 】

N b

第一元素が N b である場合、N b の含有量は、1 . 5 原子 % 以上 3 . 2 原子 % 以下が挙げられる。N b の含有量が上記範囲であれば、N b が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 2 6 0 M P a 以上、導電率が 5 0 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、N b の含有量が多くなれば、例えば 3 0 0 M P a 以上、更に 3 2 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、N b の含有量が少なくなれば、例えば、5 3 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と N b との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が N b である形態は、強度をより高め易い。

40

50

【 0 0 9 1 】

H f

第一元素が H f である場合、H f の含有量は、1 . 6 原子%以上 4 . 6 原子%以下が挙げられる。H f の含有量が上記範囲であれば、H f が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 2 8 0 M P a 以上、導電率が 5 2 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、H f の含有量が多くなれば、例えば 3 0 0 M P a 以上、更に 3 4 0 M P a 以上、3 6 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、H f の含有量が少なくなれば、例えば、5 4 % I A C S 以上、更に 5 6 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と H f との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が H f である形態は、強度をより高め易い。

10

【 0 0 9 2 】

T a

第一元素が T a である場合、T a の含有量は、1 . 5 原子%以上 3 . 6 原子%以下が挙げられる。T a の含有量が上記範囲であれば、T a が主として A l との化合物として存在することで、例えば引張強さが 2 6 0 M P a 以上、導電率が 5 0 % I A C S 以上を両立する優れた性能の A l 合金線にできる。上記範囲内で、T a の含有量が多くなれば、例えば 3 0 0 M P a 以上、更に 3 2 0 M P a 以上という高い引張強さを有する A l 合金線にできる。上記範囲内で、T a の含有量が少なくなれば、例えば、5 3 % I A C S 以上という高い導電率を有する A l 合金線にできる。A l と T a との金属間化合物は、融点が 1 3 0 0 以上と更に高く、安定性により優れる。そのため、上記金属間化合物は析出し易く、析出物は微細になり易い。この点で、第一元素が T a である形態は、強度をより高め易い。

20

【 0 0 9 3 】

その他

ここでの第一元素の含有量及び N d の含有量とは、A l 合金線をなす A l 基合金に含まれる量をいう。製造過程において、原料（代表的にはアルミニウム地金）に不純物として第一元素を含む場合、第一元素の含有量の合計が 1 . 4 原子%超 5 . 1 原子%以下の範囲で所望の量となるように、原料への第一元素の添加量を調整するとよい。不純物として N d を含む場合も同様である。

30

【 0 0 9 4 】

(組織)

実施形態の第一の A l 合金線は、代表的には A l を主体とする母相と、母相中に存在し、A l と第一元素とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有する。F e と N d とを含む実施形態の第二の A l 合金線は、代表的には A l を主体とする母相と、母相中に存在し、A l と F e と N d とを含む化合物からなる化合物粒子とを含む組織を有する。上記化合物粒子が母相に分散して存在することで、実施形態の A l 合金線は、分散強化による強度の向上効果と、母相への第一元素、N d の固溶低減による高い導電率の具備効果とを得られる。そのため、高い引張強さと高い導電率とをバランスよく有する A l 合金線にできる。

40

【 0 0 9 5 】

A l 基合金の母相は、A l と、A l に固溶する元素（第一元素、N d ）と、不可避不純物とからなる。代表的には、母相は A l を 9 9 . 4 原子%以上含む。また、母相は、A l 基合金における上述の化合物以外の相である。

【 0 0 9 6 】

化合物粒子の大きさ

上記化合物粒子は小さいほど、特に 1 μ m 以下といった微細粒子であると分散強化による強度の向上効果を得易い。一例として、実施形態の第一の A l 合金線では、A l 合金線の軸方向に沿った平面で A l 合金線を切断した縦断面において、上記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下である形態 (a - 1) が挙げられる。

50

【 0 0 9 7 】

上述の長軸長さが500nm以下である化合物粒子は、Al合金線の軸方向に長く連続しておらず、短い粒子といえる。短い化合物粒子は、孤立して存在し易く、母相に分散し易い。従って、この形態(a-1)は、短い化合物粒子が分散した組織を有するといえる。また、短い化合物粒子は、長い粒子に比較して母相に均一的に分散し易い。このような形態(a-1)のAl合金線は、以下の少なくとも一つの効果を奏する。

【 0 0 9 8 】

(i) 微細な化合物粒子の分散強化によって強度により優れる。

(ii) 線材における曲げに対する剛性が高くなり過ぎることを抑制してスプリングバックを低減できる。

(iii) 化合物粒子が短いことで、Al合金線の軸方向に沿ったAlの導電パスを阻害し難く、導電性により優れる。

(iv) 化合物粒子が短いことで、Al合金線の軸方向に交差する方向から力を受けた場合に化合物粒子が破断の起点となり難い。そのため、曲げ易く屈曲性に優れたり、繰り返しの屈曲によって破断し難く、疲労強度により優れたりする。

これらの効果は、上記長軸長さが短いほど得易く、上記長軸長さは450nm以下、更に400nm以下、380nm以下であることが好ましい。

【 0 0 9 9 】

上述の形態(a-1)に加えて、Al合金線をその軸方向に直交する平面で切断した横断面において、上記化合物粒子の長軸長さが500nm以下である形態(a-2)がより好ましい。横断面における上記長軸長さが500nm以下である化合物粒子は、Al合金線の軸方向に直交する方向(代表的には線材の径方向)に長く連続しておらず、短い粒子といえる。形態(a-2)は、任意の方向からみて短い化合物粒子が分散した組織を備えて、化合物粒子の大きさの方向性(異方性)が小さい又は実質的に無いといえる。このようなAl合金線は、上述の強度の向上、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、破断強度の向上、耐衝撃性の向上といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する。また、任意の方向においてAlの導電パスを確保し易く、導電性により優れる。これらの効果は、横断面における上記長軸長さが短いほど得易い。そのため、上記長軸長さは450nm以下、更に400nm以下、350nm以下であることが好ましい。特に、横断面における上記長軸長さが300nm以下、更に280nm以下、250nm以下、150nm以下であると、微細な化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びAlの導電パスの確保による導電性の向上効果を一層得易い。

【 0 1 0 0 】

FeとNdとを含む実施形態の第二のAl合金線の一例として、Al合金線の縦断面において、上述のNdを含む化合物粒子の長軸長さが105nm以下である形態(a-3)が挙げられる。形態(a-3)では、上記化合物粒子の長軸長さが上述の形態(a-1)よりも短い。このような化合物粒子は、母相により均一的に分散し易い。そのため、形態(a-3)は、上述の(i)から(iv)の効果を良好に得られる。形態(a-3)は、上記長軸長さが100nm以下、更に98nm以下であると、上記(i)から(iv)の効果を更に良好に得られて好ましい。

【 0 1 0 1 】

上記形態(a-3)も、上述の形態(a-2)と同様の理由により、Al合金線の横断面において、上述のNdを含む化合物粒子の長軸長さが105nm以下である形態(a-4)がより好ましい。形態(a-4)も、横断面における上記長軸長さが短いほど、強度の向上、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、破断強度の向上、耐衝撃性の向上といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する上に、導電性にもより優れる。そのため、横断面における上記長軸長さは、100nm以下、更に90nm以下、80nm以下が好ましい。

【 0 1 0 2 】

上記縦断面における化合物粒子の長軸長さは、上記横断面における化合物粒子の長軸長

10

20

30

40

50

さよりも長いことが挙げられる。この場合でも、上記縦断面における上記長軸長さが上記横断面における上記長軸長さの1倍超5倍以下、更に4倍以下、3倍以下、1.5倍以下であると、上述の微細な化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果を良好に得られる。

【0103】

なお、上記縦断面における化合物粒子の長軸長さが上記横断面における化合物粒子の長軸長さよりも長くなる理由は定かではない。伸線前において化合物粒子の核となる合金化領域が原子レベル（ナノメートルオーダー）で針状に生じており、伸線時にこの針状の領域が伸線方向に整列するように塑性変形するためと推測される。この推測は、後述するアスペクト比についても同様である。

10

【0104】

化合物粒子の形状

上記化合物粒子は球状に近いと破断の起点になり難い上に、A1の導電パスも阻害し難く好ましい。一例として、実施形態の第一のA1合金線では、上記縦断面において、化合物粒子のアスペクト比が5以下である形態（b-1）が挙げられる。

【0105】

上述のアスペクト比が5以下である化合物粒子とは、長軸長さが短軸長さの5倍以下の楕円状等であり、球状に近いといえる。従って、この形態（b-1）は、球状の化合物粒子が母相に分散した組織を有するといえる。球状の化合物粒子は、細長い粒子に比較して均一的に分散し易い。そのため、形態（b-1）のA1合金線は、以下の少なくとも一つの効果を奏する。

20

【0106】

（v）球状の化合物粒子の分散強化によって強度により優れる。

（v i）線材における曲げに対する剛性が高くなり過ぎることを抑制してスプリングバックを低減できる。

（v i i）化合物粒子が球状であれば、細長い粒子に比較して、A1合金線の軸方向に沿ったA1の導電パスを阻害し難く、導電性により優れる。

（v i i i）化合物粒子が球状であれば、A1合金線の軸方向に交差する方向から力を受けた場合に化合物粒子が破断の起点となり難い。そのため、曲げ易く屈曲性に優れたり、繰り返しの屈曲によって破断し難く、疲労強度により優れたりする。

30

これらの効果は、上記アスペクト比が1に近いほど得易く、上記アスペクト比は4.5以下、更に4.0以下、3.5以下であることが好ましい。

【0107】

上述の形態（b-1）に加えて、A1合金線の横断面において、上記化合物粒子のアスペクト比が5以下である形態（b-2）がより好ましい。横断面における上記アスペクト比が5以下である化合物粒子は、上述のように球状に近いといえる。形態（b-2）は、任意の方向からみて球状の化合物粒子が分散した組織を備えて、化合物粒子の形状の方向性（異方性）が小さい又は実質的に無いといえる。このようなA1合金線は、上述の強度の向上、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、破断強度の向上、耐衝撃性の向上といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する。また、任意の方向においてA1の導電パスを確保し易く、導電性により優れる。これらの効果は、横断面における上記アスペクト比が1に近いほど得易い。そのため、上記アスペクト比は4.5以下、更に4.0以下、3.5以下であることが好ましい。特に、横断面における上記アスペクト比が3.0以下、更に2.9以下、2.8以下であると、球状の化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果を一層得易い。

40

【0108】

なお、形態（b-1）、（b-2）において、上記アスペクト比を1超、更に1.5以上としてもよい。この点は、後述する形態（b-3）、（b-4）も同様である。

【0109】

実施形態の第一のA1合金線については、上述の形態（a-1）及び形態（b-1）の

50

少なくとも一方を満たすことが好ましく、双方を満たすことがより好ましい。上述の形態（a - 2）及び形態（b - 2）の少なくとも一方を満たすことが更に好ましい。特に、上述の形態（a - 2）及び形態（b - 2）の双方を満たすと、より一層好ましい。任意の断面において上記化合物粒子が微細で球状に近く、より均一的に分散し易いからである。このようなA1合金線は、化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果をより一層得易い上に、上述の機械的特性にも優れて好ましい。

【0110】

FeとNdとを含む実施形態の第二のA1合金線の一例として、A1合金線の縦断面において、上述のNdを含む化合物粒子のアスペクト比が3.3未満である形態（b - 3）が挙げられる。形態（b - 3）では、上記化合物粒子のアスペクト比が上述の形態（b - 1）よりも小さく、球状により近いといえる。このような化合物粒子は、母相により均一的に分散し易い。そのため、形態（b - 3）は、上述の（v）から（viii）の効果を良好に得られる。形態（b - 3）では、上記アスペクト比が3.2以下、更に3.1以下であると、上記（v）から（viii）の効果を更に良好に得られて好ましい。

10

【0111】

上記形態（b - 3）も、上述の形態（b - 2）と同様の理由により、A1合金線の横断面における上述のNdを含む化合物粒子のアスペクト比が3.3未満である形態（b - 4）がより好ましい。形態（b - 4）も、横断面における上記アスペクト比が小さいほど、強度の向上、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、破断強度の向上、耐衝撃性の向上といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する。特に、横断面における上記アスペクト比は、2.5以下、更に2.3以下が好ましい。

20

【0112】

実施形態の第二のA1合金線については、上述の形態（a - 3）及び形態（b - 3）の少なくとも一方を満たすことが好ましく、双方を満たすことがより好ましい。上述の形態（a - 4）及び形態（b - 4）の少なくとも一方を満たすことが更に好ましい。特に、上述の形態（a - 4）及び形態（b - 4）の双方を満たすと、より一層好ましい。任意の断面において上述のNdを含む化合物粒子が微細で球状により近く、更に均一的に分散し易いからである。このようなA1合金線は、化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果をより良好に得られる上に、上述の機械的特性にもより優れて好ましい。

30

【0113】

その他、上記縦断面における化合物粒子のアスペクト比は、上記横断面における化合物粒子のアスペクト比よりも大きいことが挙げられる。この場合でも、上記縦断面における上記アスペクト比が上記横断面における上記アスペクト比の1倍以上2倍以下、更に1.9倍以下、1.8倍以下、1.5倍以下であると、上述の球状の化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果を良好に得られる。

【0114】

化合物粒子の存在量

A1合金線の縦断面及び横断面の双方において、A1と第一元素とを含む化合物からなる化合物粒子の存在量が近いことが好ましい。化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果をより適切に得易い上に、機械的特性にも優れるからである。一例として、実施形態の第一のA1合金線では、縦断面及び横断面の双方から以下の測定領域をとり、以下を満たす形態（c）が挙げられる。縦断面の測定領域、及び横断面の測定領域はいずれも、一辺の長さが5 μmである正方形の領域とする。

40

【0115】

（形態c）

縦断面の測定領域において、A1と第一元素とを含む化合物からなる化合物粒子の個数が950個以上1500個以下である。縦断面の測定領域の面積に対する上述の化合物粒

50

子の合計面積の比率が 5 % 以上 2 0 % 以下である。

横断面の測定領域における上述の化合物粒子の個数が 9 5 0 個以上 4 5 0 0 個以下である。横断面の測定領域の面積に対する上述の化合物粒子の合計面積の比率が 2 . 5 % 以上 2 0 % 以下である。

【 0 1 1 6 】

上記形態 (c) は、任意の方向からみて化合物粒子の存在量が類似しており、化合物粒子の存在状態の方向性 (異方性) が小さいといえる。また、形態 (c) は、上記個数と上記面積比率との双方が上記の範囲を満たすため、一つの化合物粒子の面積が小さく、この化合物粒子は微細であるといえる。このような A 1 合金線は、強度により優れる。また、形態 (c) の A 1 合金線は、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、疲労強度の向上、曲げに対して加工硬化し難く、加工硬化に起因する断線等の低減、衝撃等での破断低減といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する。更に、化合物粒子が微細であることで、化合物粒子が A 1 の導電パスを阻害し難く、導電性により優れる。

10

【 0 1 1 7 】

上述の形態 (c) の縦断面において、上記個数が 9 5 0 個以上であり、かつ上記面積比率が 5 % 以上であれば、上記化合物粒子が適切に存在して、上述のように機械的特性に優れる。この効果は、上記個数が多いほど、また上記面積比率が大きいほど得易い。例えば上記個数が 9 6 0 個以上、更に 9 7 0 個以上であると強度により優れる。上記個数が 1 0 0 0 個以上、更に 1 0 5 0 個以上、1 2 0 0 個以上、1 4 0 0 個以上であると強度により一層優れる。又は、例えば上記面積比率が 6 % 以上、更に 8 % 以上、1 0 % 以上であると強度により優れる。特に上記面積比率が 1 4 % 以上、更に 1 5 % 以上、1 8 % 以上であると強度により一層優れる。

20

【 0 1 1 8 】

上述の形態 (c) の縦断面において、上記個数が 1 5 0 0 個以下であり、かつ上記面積比率が 2 0 % 以下であれば、上記化合物粒子が A 1 の導電パスを阻害し難く導電性に優れる。この効果は、上記個数が少ないほど、また上記面積比率が小さいほど得易い。例えば上記個数は 1 4 5 0 個以下、更に 1 4 0 0 個以下、1 2 5 0 個以下であると、導電性により優れる。又は、例えば上記面積比率は 1 9 % 以下、更に 1 8 % 以下、1 7 % 以下であると、導電性により優れる。

【 0 1 1 9 】

上述の形態 (c) の横断面において、上記個数が 9 5 0 個以上であり、かつ上記面積比率が 2 . 5 % 以上であれば、上記化合物粒子が適切に存在して、上述のように機械的特性に優れる。この効果は、上記個数が多いほど、また上記面積比率が大きいほど得易い。例えば上記個数が 1 0 0 0 個以上であると強度により優れる。上記個数が 1 2 0 0 個以上、更に 1 3 0 0 個以上であると強度により一層優れる。又は、例えば上記面積比率が 2 . 7 % 以上、更に 3 . 0 % 以上、3 . 2 % 以上であると強度により優れる。特に上記面積比率が 4 . 0 % 以上、更に 4 . 5 % 以上、5 . 0 % 以上であると強度により一層優れる。

30

【 0 1 2 0 】

第一元素が T i , S c , Z r , N b , H f , 及び T a からなる群より選択される 1 種の元素を含む場合、横断面における上記化合物粒子の個数が多くなり易い。例えば、上記個数は 2 0 0 0 個以上、更に 2 5 0 0 個以上、元素によって 3 0 0 0 個以上が挙げられる。上記化合物粒子がこのように多く、かつ上記面積比が 2 . 5 % 以上であれば、上記化合物粒子がより微細で、均一的に分散し易いといえる。そのため、より高強度な A 1 合金線にできる。

40

【 0 1 2 1 】

上述の形態 (c) の横断面において、上記個数が 4 5 0 0 個以下であり、かつ上記面積比率が 2 0 % 以下であれば、上記化合物粒子が A 1 の導電パスを阻害し難く導電性に優れる。この効果は、上記個数が少ないほど、また上記面積比率が小さいほど得易い。例えば上記個数は 4 4 8 0 個以下、更に 4 2 0 0 個以下、4 0 0 0 個以下であると、導電性により優れる。又は、例えば上記面積比率は 1 5 % 以下、更に 1 4 % 以下、1 3 % 以下である

50

と、導電性により優れる。

【0122】

実施形態の第一のA1合金線については、上述の形態(a-1)及び形態(b-1)の少なくとも一方を満たすこと、更には上述の形態(a-2)及び形態(b-2)の少なくとも一方を満たすことに加えて、上記形態(c)を満たすことが好ましい。特に、上述の形態(a-2)及び形態(b-2)の双方と形態(c)とを満たすと、任意の断面において上記化合物粒子が微細で球状に近く、より均一的に分散し易い上に、上記化合物粒子の存在量が適切である。そのため、化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果を更に得易い上に、上述の機械的特性にも更に優れて好ましい。

10

【0123】

FeとNdとを含む実施形態の第二のA1合金線では、縦断面及び横断面の双方から、以下の測定領域をとり、以下を満たす形態(d)が挙げられる。縦断面の測定領域、及び横断面の測定領域はいずれも、一辺の長さが5µmである正方形の領域とする。

【0124】

(形態d)

縦断面の測定領域及び横断面の測定領域において、A1とFeとNdとを含む化合物からなる化合物粒子の個数が2200個以上3800個以下である。

縦断面の測定領域及び横断面の測定領域の面積に対する上記化合物粒子の合計面積の比率が4.5%以上20%以下である。

20

【0125】

上記形態(d)では、任意の方向からみて化合物粒子の存在量が概ね同様であり、化合物粒子の存在状態の方向性(異方性)が形態(c)よりも小さい、又は実質的に無いといえる。また、形態(d)は、上記個数と上記面積比率との双方が上記の範囲を満たすため、一つの化合物粒子の面積が形態(c)に比較してより小さい。このような化合物粒子はより微細であるといえる。従って、形態(d)のA1合金線は、強度に更に優れる。また、形態(d)のA1合金線は、スプリングバックの低減、屈曲性の向上、疲労強度の向上、上述の加工硬化に起因する断線等の低減、衝撃等での破断低減といった効果のうち、少なくとも一つの効果を奏する。更に、化合物粒子がより微細であることで、化合物粒子がA1の導電パスを阻害し難く、導電性に更に優れる。

30

【0126】

上述の形態(d)の縦断面及び横断面の双方において、上記個数が2200個以上であり、かつ上記面積比率が4.5%以上であれば、上記化合物粒子が適切に存在して、上述のように機械的特性に優れる。この効果は、上記個数が多いほど、また上記面積比率が大きいほど得易い。例えば上記個数が2250個以上、更に2300個以上であると強度により優れる。又は、例えば上記面積比率が4.6%以上、更に4.7%以上、5%以上であると強度により優れる。特に上記面積比率が10%以上、更に12%以上であると強度により一層優れる。

【0127】

上述の形態(d)の縦断面及び横断面の双方において、上記個数が3800個以下であり、かつ上記面積比率が20%以下であれば、上記化合物粒子がA1の導電パスを阻害し難く導電性に優れる。この効果は、上記個数が少ないほど、また上記面積比率が小さいほど得易い。例えば上記個数は3750個以下、更に3700個以下であると、導電性により優れる。又は、例えば上記面積比率は19.5%以下、更に19.0%以下であると、導電性により優れる。

40

【0128】

実施形態の第二のA1合金線については、上述の形態(a-3)及び形態(b-3)の少なくとも一方を満たすこと、更には上述の形態(a-4)及び形態(b-4)の少なくとも一方を満たすことに加えて、上記形態(d)を満たすことが好ましい。特に、上述の形態(a-4)及び形態(b-4)の双方と形態(d)とを満たすと、任意の断面におい

50

て上記化合物粒子が微細で球状により近く、更に均一的に分散し易い上に、上記化合物粒子の存在量が適切である。そのため、化合物粒子の分散強化による強度の向上効果及びA1の導電パスの確保による導電性の向上効果をより一層得易い上に、上述の機械的特性にもより一層優れて好ましい。

【0129】

第一元素の固溶量

実施形態のA1合金線をなすA1基合金における第一元素は、上述のように主として化合物として存在し、母相中の第一元素の固溶量が少ないことが好ましい。定量的には、実施形態の第一のA1合金線では、母相中の第一元素の含有量（固溶量）が合計で0.55原子%未満であることが挙げられる。ここでの固溶量とは、後述する急冷状態（非平衡状態）での指標である。上記第一元素の固溶量が合計で0.55原子%と非常に少なければ、母相中のA1の純度が高く、導電性に優れる。上記固溶量が少ないほど、A1の純度が高くなり、導電性により優れる。また、上記固溶量が少ないほど、A1基合金中の第一元素は化合物粒子として存在し、この化合物粒子の分散強化による強度の向上効果を適切に得られて、強度により優れる。上記固溶量が合計で0.53原子%以下、更に0.52原子%以下であれば、導電性の向上効果及び強度の向上効果をより得易い。なお、第一元素がFeである場合の固溶量「0.55原子%以下」を質量割合に換算すると、概ね1質量%以下に相当する。

10

【0130】

FeとNdとを含む実施形態の第二のA1合金線では、母相中のFeの含有量（固溶量）が0.28原子%未満であることが挙げられる。上記Feの固溶量が少ないほど、上述のように導電性及び強度に優れる。上記固溶量は、0.25原子%以下、更に0.23原子%以下であれば、導電性の向上効果及び強度の向上効果をより得易い。

20

【0131】

機械的特性、電気的特性

実施形態の第一のA1合金線は、引張強さが250MPa以上であり、強度に優れる。FeとNdとを含む実施形態の第二のA1合金線は、引張強さが345MPa以上であり、強度により優れる。このようなA1合金線は、使用時等で引っ張られたり、曲げられたり、繰り返しの屈曲を受けたり等しても破断し難い。実施形態の第一のA1合金線では、引張強さが255MPa以上、更に260MPa以上、265MPa以上であれば、強度により優れる。実施形態の第二のA1合金線では、引張強さが350MPa以上、更に360MPa以上、370MPa以上であれば、強度により優れる。

30

【0132】

実施形態のA1合金線では、導電率が50%IACS以上であり、導電性に優れる。このようなA1合金線は導体線として好適に利用できる。導電率が51%IACS以上、更に52%IACS以上であれば、導電性により優れる。導電率が55%IACS以上、更に55.5%IACS以上、55.8%IACS以上、56%IACS以上であれば、導電性に更に優れる。

【0133】

実施形態のA1合金線の一例として、0.2%耐力が50MPa以上である形態が挙げられる。0.2%耐力が大きいほど、強度に優れる。0.2%耐力が55MPa以上、更に58MPa以上、60MPa以上であれば、強度に更に優れる。

40

【0134】

実施形態のA1合金線の一例として、0.2%耐力が100MPa以下であること、及び破断伸びが10%以上であることの少なくとも一方を満たす形態、更には双方を満たす形態が挙げられる。引張強さ及び導電率が上述のように高い上に、0.2%耐力が100MPa以下と高過ぎなかったり、破断伸びが10%以上と高かったりすると、曲げ易く屈曲性により優れたり、疲労強度により優れたり、衝撃を受けた場合により破断し難かったりする。また、0.2%耐力が100MPa以下であれば、圧着端子等が取り付けられた場合に端子近傍での破断等を低減し易い。A1合金線が圧着荷重下で適度な塑性変形を起

50

こすことで、端子との接続強度を高め易いからである。0.2%耐力が98MPa以下、更に95MPa以下、90MPa以下であれば、屈曲性や端子との接続強度等をより高め易い。破断伸びが10.5%以上、更に11.0%以上、11.5%以上であれば、曲げ等をより行い易い。例えば引張強さが400MPa以上といった、より高強度なAl合金線である場合には、破断伸びが7%以上であれば、高強度でありながら伸びにも優れる。

【0135】

上述の化合物粒子の長軸長さ、アスペクト比、個数、面積比率、Al合金線の引張強さ、0.2%耐力、破断伸び、導電率は、例えば、第一元素の種類、第一元素の含有量、第二元素(Nd)の含有量、製造条件(伸線条件、熱処理条件等)を調整することで変更できる。例えば、第一元素が多いと長軸長さ、アスペクト比、個数、面積比率が大きくなる傾向にある。第一元素が少ないとその逆の傾向にある。また、例えば、第一元素が多いと引張強さや0.2%耐力が高くなる傾向にある。第一元素が少ないと導電率や破断伸びが高くなる傾向にある。第一元素がFeであり、かつNdを含むと、個数が大きくなったり、引張強さや0.2%耐力が高くなったりする傾向にある。

【0136】

(形状)

実施形態のAl合金線の横断面形状は、用途等に応じて適宜選択できる。例えば、横断面形状が円形である丸線、横断面形状が長方形状である角線、その他、横断面形状が楕円状や六角形等の多角形状である異形線等が挙げられる。Al合金線が上述の圧縮撚線の素線をなす場合には、円形が押し潰されたような横断面形状を有する。所望の横断面形状となるように、伸線ダイスの形状、圧縮成形用のダイスの形状等を選択するとよい。

【0137】

(大きさ)

実施形態のAl合金線の大きさ(横断面積、線径等)は、用途等に応じて適宜選択できる。線径の一例として、0.01mm以上8mm以下が挙げられる。ここでの線径は、上述の丸線であれば直径、上述の異形線であれば横断面形状を内包する最小円の直径とする。自動車用ワイヤーハーネス等の各種のワイヤーハーネスに備えられる電線の導体に実施形態のAl合金線を利用する場合には、線径は0.2mm以上1.5mm以下程度が挙げられる。建築物等の配線構造を構築する電線の導体に実施形態のAl合金線を利用する場合には、線径は0.2mm以上3.6mm以下程度が挙げられる。イヤホン等の信号線やマグネットワイヤーの導体線等に実施形態のAl合金線を利用する場合には、線径は0.01mm以上0.5mm以下が挙げられる。

【0138】

[Al合金撚線]

実施形態のAl合金線は、上述のように圧縮撚線を含む撚線の素線に利用できる。高強度で導電性に優れる実施形態のAl合金線を備える撚線は、高強度で導電性に優れる。また、上記撚線は、同じ導体断面積を有する単線のAl合金線と比較して可撓性に優れて曲げ等を行い易い。更に、上記撚線は、各素線が細い場合でも撚り合せられることで撚線全体として強度に優れる。そのため、上記撚線は、衝撃や繰り返しの屈曲を受けた場合等でも各素線が破断し難く、耐衝撃性及び疲労強度に優れる。圧縮撚線であれば、単に撚り合せた状態よりも線径を小さくしたり、外形を所望の形状(例えば円形)にしたりすることができる。撚り合せ本数、撚りピッチ、圧縮形状等は適宜選択できる。

【0139】

[電線]

実施形態のAl合金線や、実施形態のAl合金線を含む撚線(圧縮撚線でもよい、以下この段落について同様)は、電線の導体に好適に利用できる。上記電線は、以下の裸形態、被覆形態が挙げられる。裸形態は、単線や撚線の外周に絶縁被覆を備えず、単線や撚線をそのまま利用する。被覆形態は、単線や撚線の外周に絶縁被覆を備える。高強度で導電性に優れる実施形態のAl合金線を導体に備える電線は、高強度で導電性に優れる。

【0140】

絶縁被覆の構成材料は適宜な絶縁材料が利用できる。絶縁材料は、例えばポリ塩化ビニル（PVC）やノンハロゲン樹脂、難燃性に優れる材料等が挙げられる。公知の絶縁材料が利用できる。絶縁被覆の厚さは所定の絶縁強度を有する範囲で適宜選択できる。

【0141】

上記電線の端部に端子を備える端子付き電線とすることができる。この端子付き電線は、自動車や飛行機等に載置されるワイヤーハーネス、産業用ロボット等に利用されるワイハーネス等に利用できる。端子は、圧着端子や溶融型端子等、公知のものが利用できる。

【0142】

上述の圧縮撚線を含む撚線や、被覆電線の導体を構成する各Al合金線の組成、組織、機械的特性及び電気的特性等の仕様は、代表的には、撚り合せ前や絶縁被覆の形成前等に用いた実施形態のAl合金線の仕様を実質的に維持する。

10

【0143】

[Al合金線の製造方法]

(概要)

実施形態の第一のAl合金線は、例えば、以下の素材準備工程、伸線工程、及び熱処理工程を備える実施形態の第一のAl合金線の製造方法（第一の製法）によって製造することができる。FeとNdとを含む実施形態の第二のAl合金線は、例えば、以下の素材準備工程、伸線工程、及び熱処理工程を備える実施形態の第二のAl合金線の製造方法（第二の製法）によって製造することができる。

【0144】

20

(第一の製法)

(素材準備工程) Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, 及びTaからなる群より選択される少なくとも1種の金属元素（第一元素）を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、第一元素を固溶した第一の素材を製造する工程。

(伸線工程) 上記第一の素材に第一元素の析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程。

(熱処理工程) 上記伸線材に熱処理を施して、Alと第一元素とを含む化合物を析出させる工程。

【0145】

30

(第二の製法)

(素材準備工程) Feを1.4原子%超5.1原子%以下、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含有し、残部がAl及び不可避不純物からなる組成を有するアルミニウム基合金からなり、Fe及びNdを固溶した第一の素材を製造する工程。

(伸線工程) 上記第一の素材にFe及びNdの析出温度以下の条件で加工を施した第二の素材に伸線加工を施して、所定の線径の伸線材を製造する工程。

(熱処理工程) 上記伸線材に熱処理を施して、AlとFeとNdとを含む化合物を析出させる工程。

【0146】

第一の製法では、第一元素の含有量が合計で1.4原子%超と比較的多いものの、伸線加工に供する素材を第一元素が実質的に析出していないものとする。代表的には、伸線加工に供する素材として、第一元素の実質的に全量を固溶した第一の素材に、第一元素が実質的に析出しない条件で加工を施した第二の素材を利用する。第二の素材は、伸線前においてAlと第一元素とを含む化合物が実質的に存在しない。そのため、伸線時に上記化合物粒子が起点となって破断することが無く、伸線加工性に優れる。このような第二の素材を伸線加工に供することで、伸線時に断線し難く、伸線材の製造性に優れる。また、伸線後に熱処理を施すことで、上記化合物を微細な粒子として析出できる。そのため、第一の製法は、微細な化合物粒子が分散された組織を形成できると共に、母相中の第一元素の固溶量を低減できる。従って、第一の製法は、高強度で導電性に優れるAl合金線、代表的には上述の実施形態の第一のAl合金線を生産性よく製造できる。

40

50

【 0 1 4 7 】

第二の製法では、F e を 1 . 4 原子% 超含むと共に、N d を含む A l 基合金を用いるものの、伸線加工に供する素材を F e 及び N d の双方が実質的に析出していないものとする。代表的には、伸線加工に供する素材として、F e 及び N d の実質的に全量を固溶した第一の素材に、F e 及び N d が実質的に析出しない条件で加工を施した第二の素材を利用する。この第二の素材も、上述と同様の理由により、伸線加工性に優れる。また、伸線後に熱処理を施すことで、A l と F e と N d とを含む化合物を非常に微細な粒子として析出できる。そのため、第二の製法は、より微細な化合物粒子が分散された組織を形成できると共に、母相中の F e 及び N d の固溶量を低減できる。従って、第二の製法は、より高強度で、導電性に優れる A l 合金線、代表的には上述の実施形態の第二の A l 合金線を生産性よく製造できる。

10

以下、各工程を詳細に説明する。

【 0 1 4 8 】

(素材準備工程)

この工程では、代表的には上述の A l 基合金からなる溶湯を急冷して第一の素材を製造する。第一の素材は、代表的には、第一元素、又は F e 及び N d (以下、まとめて第一元素等と呼ぶことがある) が固溶した過飽和固溶体である。

【 0 1 4 9 】

ここで、特許文献 1 に記載されるような従来の連続鋳造法では、鋳造時の溶湯の冷却速度は 1 0 0 0 / 秒以下であり、実用的には数百 / 秒以下程度である。このような冷却速度で、例えば F e を 3 質量% 以上含む溶湯を凝固すれば、鋳造時に A l と F e とを含む化合物が析出し、上記化合物が存在する鋳造材が得られる。特に F e の含有量が 3 質量% 以上と多いため、上記化合物が粗大粒子であったり、塊状になったりして存在し易い。実施形態の A l 合金線の製造方法では、第一元素を 1 . 4 原子% 超 (F e では 3 質量% 以上) 含むことを鑑みて、溶湯の冷却速度を上記の従来の連続鋳造法よりも速くする。定性的には、溶湯の冷却速度を第一元素等が実質的に析出しない大きさとする。定量的には、溶湯の冷却速度を 1 0 , 0 0 0 / 秒以上とする。

20

【 0 1 5 0 】

溶湯の冷却速度が速いほど、第一元素等が析出し難い。そのため、A l と第一元素等とを含む化合物からなる析出物を実質的に含まない過飽和固溶体を得易い。例えば、X 線回折 (X R D) による構造解析において、固溶元素 (第一元素等) の全量が析出したと仮定したときの A l のトップピーク強度と上記化合物のトップピーク強度との比率 (A l のトップピーク強度 / 上記化合物のトップピーク強度) は理論的には体積比に相当する。この理想的な比率では分母と分子との差がそれほど大きく無い。これに対し、第一の素材における上記比率では分母 (上記化合物のトップピーク強度) が分子 (A l のトップピーク強度) に比較して非常に小さく、上記比率が大きくなる。即ち、第一の素材として、上記比率が大きな鋳造材を得易い。例えば、上記比率が上記理論的な比率の 1 0 倍以上、更に 1 2 倍以上、1 5 倍以上である鋳造材を得易い。溶湯の冷却速度を 1 5 , 0 0 0 / 秒以上、更に 2 0 , 0 0 0 / 秒以上、5 0 , 0 0 0 / 秒以上とすれば、上記化合物の析出をより効果的に低減できる。そのため、第一の素材における上記比率を大きくし易い。

30

40

【 0 1 5 1 】

上述の溶湯の冷却速度は、溶湯の組成、溶湯の温度、凝固材の大きさ (厚さや粒径等) 等に基づいて調整することが挙げられる。冷却速度の測定は、例えば、好感度の赤外線サーモグラフィカメラ (例、フリアーシステムズ社製 A 6 7 5 0 、時間分解能 : 0 . 0 0 0 2 s e c) を用いて、鋳型 (例、後述するメルトスパン法では銅ロール等) に接した溶湯の温度を観測することで求めることが挙げられる。湯温から 3 0 0 まで冷却する間に経過する時間を t (秒) とし、冷却速度は、 $(\text{湯温} - 300) / t$ (/ 秒) で求める。例えば、湯温が 7 0 0 であれば、冷却速度は $400 / t$ (/ 秒) で求める。

【 0 1 5 2 】

第一の素材を薄帯状又は粉末状とすれば、厚さが薄かったり、粉末粒径が小さかったり

50

することで、 $10,000$ / 秒以上といった冷却速度を達成し易い。薄帯状の第一の素材を製造する方法として、例えばメルトスパン法が挙げられる。粉末状の第一の素材を製造する方法として、例えばアトマイズ法、特にアルゴンガス等を用いたガスアトマイズ法が挙げられる。その他、溶融紡糸法を利用して、細線状の第一の素材を製造することが挙げられる。

【0153】

メルトスパン法は、高速回転する金属ロールや金属ディスクといった冷却媒体上に原料の溶湯を噴射して急冷することで薄帯や薄片（薄帯が短く砕かれたもの）を作製する方法である。メルトスパン法では、第一元素等の含有量、薄帯の厚さ等にもよるが、溶湯の冷却速度を $100,000$ / 秒以上、更に $1,000,000$ / 秒以上とすることができる。

10

【0154】

アトマイズ法は、原料の溶湯をるつぼの底部の小孔から流出し、この細流に冷却能の高いガス、又は水を高圧噴射して溶湯を飛散させて急冷することで、粉末を作製する方法である。アトマイズ法では、第一元素等の含有量、ガス圧等にもよるが、溶湯の冷却速度を $50,000$ / 秒以上、更に $100,000$ / 秒以上とすることが挙げられる。

【0155】

上述の薄帯や薄片の厚さは、例えば $1\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下、更に $50\mu\text{m}$ 以下、 $40\mu\text{m}$ 以下が挙げられる。アトマイズ粉の直径は、例えば $1\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下、更に $10\mu\text{m}$ 以下、 $5\mu\text{m}$ 以下が挙げられる。

20

【0156】

（伸線工程）

この工程では、まず、上述の第一の素材に第一元素等を実質的に析出させない条件、即ち第一元素等の析出温度以下の条件で加工を施して第二の素材を製造する。そして、上記の特定の条件で加工が施された第二の素材に伸線加工を施して伸線材を製造することが挙げられる。第二の素材は、最終的に相対密度が 98% 以上となるように製造することが好ましい。相対密度は、真密度に対する見かけ密度で表される。相対密度を 98% 以上と緻密にすることで、第二の素材の内部空隙を低減できる。その結果、伸線加工時に空隙部分に応力集中することに起因する破断が生じ難い。ひいては、伸線加工を施し易い。

【0157】

30

伸線加工に供する素材

上述の第二の素材の一例として、上述の薄帯に圧延を施した圧延材、上述の薄片や粉末に粉末圧延を施した圧延材が挙げられる。圧延によって長尺な第二の素材を製造できる。また、圧延といった塑性加工によって緻密な第二の素材を製造できる。長尺で、緻密な第二の素材であれば、上述のように伸線加工を施し易いと考えられる。

【0158】

上述の第二の素材の別例として、薄片や粉末を第一元素等が実質的に析出しない範囲の温度に加熱しながら加圧した圧縮材が挙げられる。加圧による圧縮は、内部空隙を低減して緻密化できる。このような圧縮材は、上述のように伸線加工を施し易い。そのため、圧縮材は、例えば最終線径が小さい細線、特に線径 1mm 以下の細線を製造する場合の素材に適する。上記温度は、第一元素等の種類にもよるが、例えば、後述する熱処理工程の加熱温度を基準として、（加熱温度 - 50 ）以下、更に（加熱温度 - 60 ）以下が挙げられる。第一元素としてFeを含む場合、上記温度を 300 以上 400 以下、更に 380 以下としてもよい。印加圧力は、相対密度が例えば 90% 以上、更に 95% 以上、 98% 以上となる範囲で選択することが挙げられる。定量的には印加圧力は、例えば 50MPa 以上、更に 100MPa 以上、 700MPa 以上が挙げられる。第二の素材の内部空隙の膨張に起因する亀裂の発生防止、成形型の耐久性の向上等の観点から、印加圧力は 1500MPa 以下が挙げられる。圧縮材は、このような条件でいわゆるホットプレスを行うことで製造することが挙げられる。その他、圧縮材は、アルゴン雰囲気での放電プラズマ焼結（SPS焼結）、熱間等方圧加工（HIP）等を利用して製造して、固相焼結体

40

50

とすることが挙げられる。

【0159】

上述の第二の素材の別例として、上述の薄帯、薄片や粉末、又は上述の圧縮材を金属管に収納して、金属管の両端を封止した封止材が挙げられる。封止材であれば、粉末等を用いた場合でも飛散を防止できる。また、封止材は、収納物が脆弱であっても形状等を維持し易い。そのため、封止材は、伸線加工を施し易く、上述の細線、特に線径1mm以下の細線の素材に適する。金属管は、伸線加工や後述の押出加工といった塑性加工が可能な程度の加工性と、この塑性加工時に封止材の崩壊を防止可能な程度の強度とを有する適宜な金属からなるものを利用できる。例えば、純アルミニウム又はアルミニウム合金（例、JIS規格、合金番号A1070等）、純銅又は銅合金等からなる金属管が挙げられる。伸線後等に金属管に基づく表層を除去してもよいし、上記表層を残してもよい。上記表層を残す場合、上記表層を被覆層とする被覆Al合金線、例えば銅被覆Al合金線等を製造できる。金属管の大きさは、収納物の量や大きさ、上記表層を被覆層とする場合には被覆層の厚さ等に応じて選択するとよい。

10

【0160】

上述の第二の素材の別例として、上述の圧縮材、又は上述の封止材を押出した押出材が挙げられる。押出は、緻密化できる。押出前の素材や押出条件等にもよるが、例えば相対密度が98%以上、更に99%以上、実質的に100%である押出材を得られる。このような緻密化によって押出材に伸線加工を施し易く、上述の細線の素材に適する。特に、上述の圧縮材を収納した封止材を押出した押出材は、より緻密であり、上述の細線の素材に好適である。押出温度は、第一元素等を実質的に析出させない温度であればよい。第一元素の種類にもよるが、例えば後述する熱処理工程の加熱温度を基準として、（加熱温度 - 20）以下、更に（加熱温度 - 30）以下が挙げられる。第一元素としてFeを含む場合、押出温度を300以上400以下、更に380以下としてもよい。

20

【0161】

伸線加工

伸線加工は、代表的には冷間加工とし、伸線ダイスを用いて行うことが挙げられる。伸線条件（1パスあたりの加工度、総加工度等）は、所定の最終線径の伸線材が得られるように、上述の第一の素材又は第二の素材の組成や大きさ等に応じて適宜選択すればよい。公知の伸線条件を参照してもよい。

30

【0162】

中間熱処理

所定の最終線径の伸線材が得られるまでの間、伸線加工の途中に中間熱処理を施すことができる。中間熱処理は、伸線加工に伴う歪みの除去を主目的とし、中間熱処理後の伸線加工性を高めるために行う。中間熱処理も第一元素等を実質的に析出させない条件とする。第一元素等の種類にもよるが、例えば、第一元素がFeであり、バッチ処理（後述）とする場合、中間熱処理の加熱温度は300以上400以下、更に380以下が挙げられる。中間熱処理の保持時間は0.5時間以上3時間以下が挙げられる。

【0163】

（熱処理工程）

この工程では、上述の伸線材に熱処理を施して、Alと第一元素等とを含む化合物を析出させて、上記化合物が分散した組織をするAl合金線を製造する。この目的から、この熱処理工程での熱処理条件は、第一元素等が析出可能な条件とする。第一の製法では、引張強さが250MPa以上、かつ導電率が50%IACS以上を満たすように、上記熱処理条件を調整することが挙げられる。第二の製法では、引張強さが345MPa以上、かつ導電率が50%IACS以上を満たすように、上記熱処理条件を調整することが挙げられる。引張強さ及び導電率が上記の特定の範囲を満たすことに加えて、破断伸びが10%以上、及び0.2%耐力が50MPa以上100MPa以下の少なくとも一方を満たすように、上記熱処理条件を調整することが好ましい。熱処理は、バッチ処理でも連続処理でもいずれも利用できる。

40

50

【 0 1 6 4 】

バッチ処理は、雰囲気炉等の加熱容器に熱処理対象を封入した状態で加熱する処理である。バッチ処理では、例えば加熱温度を 3 0 0 以上とすることが挙げられる。加熱温度は、第一元素等の種類、含有量に応じて調整するとよい。例えば、加熱温度は、以下のように設定することが挙げられる。1 種の第一元素を 1 . 5 原子% から 1 . 6 原子% の範囲で含有する二元の A 1 基合金に対して、伸線加工後に、加熱温度を変更して熱処理を施す。熱処理後の A 1 基合金材の導電率及び引張強さを測定する。通常、加熱温度の相違によって導電率、引張強さが異なる。代表的には、加熱温度の上昇に伴い、第一元素等の固溶量が低減されて、導電率が向上する。また、第一元素等の析出に伴い、導電率及び引張強さが向上する。ある温度を過ぎると、導電率は一定の値をとり、引張強さは軟化されて低下する。導電率の向上が飽和し、かつ強度が最も高くなる温度を基準として、加熱温度を設定する。N d を含む場合も同様である。

10

【 0 1 6 5 】

以下、加熱温度の一例を示す。

第一元素が F e である場合、又は F e と N d とを含む場合、4 0 0 超、更に 4 2 0 以上 5 0 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が C r , N i , T a である場合、3 5 0 以上、更に 3 7 0 以上 4 5 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が C o である場合、4 0 0 以上、更に 4 2 0 以上 5 0 0 以下程度が挙げられる。

20

第一元素が T i である場合、4 7 5 以上、更に 5 0 0 以上 5 8 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が S c である場合、3 0 0 以上 5 0 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が Z r である場合、5 0 0 以上、更に 5 2 0 以上 6 0 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が N b である場合、5 2 5 以上、更に 5 5 0 以上 6 0 0 以下程度が挙げられる。

第一元素が H f である場合、3 2 5 以上、更に 3 5 0 以上 5 0 0 以下程度が挙げられる。

【 0 1 6 6 】

30

保持時間は 1 0 秒以上 6 時間以下程度が挙げられる。上記加熱温度が高いほど、保持時間が短くても第一元素等を析出させ易い。保持時間の短縮によって生産性を向上できる。

【 0 1 6 7 】

上記の加熱温度及び保持時間で熱処理を行うと、代表的には、引張強さ、導電率、破断伸び、及び 0 . 2 % 耐力が上述の特定の範囲を満たす A 1 合金線を製造できる。

【 0 1 6 8 】

特に、第一元素が F e である場合、又は F e と N d とを含む場合、生産性の向上の観点から、上記加熱温度は 4 5 0 以上であることがより好ましく、4 6 0 以上、更に 4 7 0 以上が好ましい。上記加熱温度が 4 5 0 以上である場合、F e 、N d の含有量や線径等にもよるが、保持時間を 3 時間以下、更に 2 時間以下、1 . 5 時間 (9 0 分) 以下とすることが挙げられる。

40

【 0 1 6 9 】

連続処理は、パイプ炉や通電炉等の加熱容器に熱処理対象を連続的に供給して加熱する処理である。連続処理では、熱処理後の線材の導電率、引張強さが上述の範囲を満たすように、電流値、線速、炉の大きさ等のパラメータを調整するとよい。

【 0 1 7 0 】

熱処理中の雰囲気は、例えば、大気雰囲気、又は低酸素雰囲気が挙げられる。大気雰囲気とすると、雰囲気制御を不要にでき、熱処理作業性に優れる。低酸素雰囲気は、酸素含有量が大气よりも少ない雰囲気であり、A 1 基合金材の表面酸化を低減できる。低酸素雰囲気は、真空雰囲気 (減圧雰囲気) 、不活性ガス雰囲気、還元ガス雰囲気等が挙げられる。

50

【 0 1 7 1 】

上述の撚線を製造する場合には、上述の熱処理工程を経た熱処理材を撚り合せること、又は上述の伸線工程を経た伸線材を撚り合せた後に上述の熱処理工程の熱処理を施すことが挙げられる。圧縮撚線を製造する場合には、上記熱処理材を撚り合せて圧縮すること、又は上記伸線材を撚り合せた後に上記熱処理を施してから圧縮すること、又は上記伸線材を撚り合せた後に圧縮してから上記熱処理を施すことが挙げられる。

【 0 1 7 2 】

[試験例 1]

以下の組成の A l 合金線を以下の二つの条件で作製して、機械的特性、電気的特性及び組織を調べた。結果を表 1 ~ 表 2 0 に示す。表 1 , 表 2 は、F e、又は F e と N d とを含む試料を示す。表 3 , 表 4 は、C r を含む試料を示す。表 5 , 表 6 は、N i を含む試料を示す。表 7 , 表 8 は、C o を含む試料を示す。表 9 , 表 1 0 は、T i を含む試料を示す。表 1 1 , 表 1 2 は、S c を含む試料を示す。表 1 3 , 表 1 4 は、Z r を含む試料を示す。表 1 5 , 表 1 6 は、N b を含む試料を示す。表 1 7 , 表 1 8 は、H f を含む試料を示す。表 1 9 , 表 2 0 は、T a を含む試料を示す。

10

【 0 1 7 3 】

(液体急冷法を利用する試料)

試料 N o . 1 ~ N o . 1 9 , N o . 3 1 ~ N o . 3 4 , N o . 4 1 ~ N o . 4 4 , N o . 5 1 ~ N o . 5 4 , N o . 6 1 ~ N o . 6 4 , N o . 7 1 ~ N o . 7 4 , N o . 8 1 ~ N o . 8 4 , N o . 9 1 ~ N o . 9 4 , N o . 1 0 1 ~ N o . 1 0 4 , N o . 1 1 1 ~ N o . 1 1 4 の A l 合金線は、以下のようにして作製する。以下、これらの試料を急冷法の試料群と呼ぶことがある。

20

【 0 1 7 4 】

原料として、純アルミニウム (純度 4 N) と純金属 (純度 3 N)、又はアルミニウムと純金属との二元の A l 基合金 (母合金) とを用意する。ここでの純金属とは、表 1 ~ 表 2 0 のうち、奇数番号の表において「第一元素 種類」、「第二元素 種類」の欄に記載される金属元素である。母合金の製造には、例えば黒鉛電気炉、高周波溶解炉、アーク溶解炉等を利用して、公知の製造方法等によって製造できる。第一元素の含有量が上記奇数番号の表に示す量 (質量 %、原子 %) となるように純金属の添加量、又は母合金の添加量を調整して A l 基合金の溶湯を作製する。ここでは、第一元素を含む A l 基合金の溶湯、又は第一元素と第二元素 (N d) とを含む A l 基合金の溶湯を作製する。作製した溶湯を用いて、メルトスパン法 (液体急冷法) によって薄帯 (固溶素材) を作製する。

30

【 0 1 7 5 】

第一元素の含有量 (質量 %、原子 %) は、A l 基合金を 1 0 0 質量 % 又は 1 0 0 原子 % とするときの第一元素の含有割合である。第二元素 (N d) の含有量 (質量 %) は、A l 基合金を 1 0 0 質量 % とするときの N d の含有割合である。N d の含有量 (原子 %) は、A l と N d との合計含有量を 1 0 0 原子 % とするときの N d の含有割合と、A l 基合金を 1 0 0 原子 % とするときの N d の含有割合とをそれぞれ示す。

【 0 1 7 6 】

ここでは、減圧したアルゴン雰囲気 (- 0 . 0 2 M P a) で 9 0 0 に昇温して上記の原料を溶解し、溶湯を作製する。表面周速 5 0 m / 秒で回転する銅製ロールに上記溶湯を噴射して、薄帯を作製する。薄帯の幅は 2 mm 程度、薄帯の厚さ 3 0 μ m 程度とする。薄帯の長さは不定とする。ここでの溶湯の冷却速度は 8 0 , 0 0 0 / 秒 ~ 1 0 0 , 0 0 0 / 秒である (1 0 , 0 0 0 / 秒)。

40

【 0 1 7 7 】

得られた各試料の薄帯について、X R D による構造解析と、走査型電子顕微鏡 (S E M) による断面観察とを行った。

【 0 1 7 8 】

X R D による構造解析の結果、試料 N o . 1 ~ N o . 1 8 の薄帯と、N o . 3 1 以降の試料では試料番号の下桁が 1 ~ 3 であるものの薄帯とは、A l と第一元素等を含む化合

50

物のピークが見られたものの実質的にA1単相である。いわばこれらの試料の薄帯はA1の結晶構造を有する。また、A1のピークは上記化合物のピークの20倍以上である。上記化合物の具体的な組成は、表1～表20のうち、偶数番号の表において「化合物 組成」に示すものである。また、これらの試料の薄帯について、断面をSEM観察した結果、特に100nmを超えるサイズの上記化合物が見られないことから、実質的にA1単相といえる。

【0179】

一方、XRDによる構造解析の結果、試料No. 19の薄帯と、No. 31以降の試料では試料番号の下桁が4であるものの薄帯とでは、A1のピークが上記化合物のピークの10倍以上であるものの、上記化合物のピークがA1のピークの5%超(7%～10%程度)である。これらの試料では、第一元素等の含有量がA1に対して固溶可能な量(例、Feでは10質量%)を超えており、第一元素等が析出しているといえる。

10

【0180】

このことから、第一元素等の含有量が適切であり、かつメルトスパン法等の適宜な方法を用いれば、第一元素等が実質的に析出しておらず、第一元素等の実質的に全量が固溶した第一の素材(ここでは薄帯)が得られるといえる。

【0181】

上記薄帯を適宜粉碎して粉末状とし、この粉末を加熱しながら加圧して圧縮材を作製する。ここでは、アルゴン雰囲気中、印加圧力を0.1GPa、加熱温度を以下の温度()、保持時間を60分間という条件でホットプレス成形を行う。第一元素がFeである試料及びFeとNdとを含む試料の加熱温度は350 とする。それ以外の試料の加熱温度は、(熱処理の加熱温度 - 60) とする。この熱処理は、後述する伸線後に行うものである。上記ホットプレス成形で、直径10mmφ、長さ10mmの円柱状の圧縮材を作製する。各試料の圧縮材の相対密度は95%である。相対密度は、圧縮材の見かけ密度と真密度とを用いて、(見かけ密度/真密度)×100から求める。

20

【0182】

得られた各試料の圧縮材のうち、試料No. 1～No. 18と、No. 31以降の試料では試料番号の下桁が1～3であるものについてXRDによる構造解析を行った。その結果、これらの試料の圧縮材は、A1と第一元素等とを含む化合物のピークが見られたものの実質的にA1単相である。また、A1のピークは上記化合物のピークの15倍以上20倍以下である。更に、これらの試料の圧縮材について、断面をSEM観察した結果、特に100nmを超えるサイズの上記化合物が見られないことから、実質的にA1単相といえる。このことから、上述の薄帯を第一元素等の析出温度以下の条件で加工した圧縮材は、第一元素等が実質的に析出しておらず、第一元素等の実質的に全量が固溶しているといえる。

30

【0183】

得られた各試料の圧縮材をアルミニウム管に挿入した後に管の両端を封止して封止材を作製する。更に封止材を押出して押出材を作製する。ここでは、アルミニウム管として、内径10mmφ、外径12mmφであり、1000系アルミニウム合金(JIS規格、合金番号A1070)からなるものを用いる。なお、A1070は、上述のA1基合金からなる薄帯よりも塑性加工性に優れる。管の封止は、アルゴン雰囲気で行う。

40

【0184】

上記押出は、油圧式押出機を用いて行う。第一元素がFeである試料及びFeとNdとを含む試料の押出温度は400 とする。それ以外の試料の押出温度は、(熱処理の加熱温度 - 30) とする。この熱処理は、以下の伸線後に行うものである。押出材は、直径3mmφの丸棒である。押出後、アルミニウム管に基づく表層を切削除去する。上述の押出条件で得られた押出材も第一元素等が実質的に析出しておらず、第一元素等の実質的に全量が固溶する。

【0185】

上述の表層の除去後、各試料の押出材(第二の素材)に伸線加工を施し、伸線材を作製

50

する。ここでは、伸線ダイスを用いた冷間加工とし、最終線径（ $0.5\text{ mm } \phi$ ）の伸線材を作製する。

【0186】

得られた各試料の伸線材に熱処理を施す。ここでの熱処理は、バッチ処理とし、窒素雰囲気、加熱温度を以下の温度（ ）、保持時間を60分という条件とする。

【0187】

各試料の熱処理工程の加熱温度

第一元素がFeである試料、及びFeとNdとを含む試料：475

第一元素がCr, Ni, Taである試料：400

第一元素がCoである試料：450

第一元素がTiである試料：525

第一元素がScである試料：300

第一元素がZrである試料：550

第一元素がNbである試料：575

第一元素がHfである試料：375

10

【0188】

（モールド鑄造法を利用する試料）

試料No. 20～No. 26, No. 35～No. 38, No. 45～No. 48, No. 55～No. 58, No. 65～No. 68, No. 75～No. 78, No. 85～No. 88, No. 95～No. 98, No. 105～No. 108, No. 115～No. 118のAl合金線は、以下のようにして作製する。以下、これらの試料を鑄造法の試料群と呼ぶことがある。

20

【0189】

試料No. 1等と同様にして、第一元素等を含むAl基合金の溶湯を作製し、公知の連続鑄造法（モールド鑄造法）を用いて、連続鑄造材を作製する。ここでは、銅鑄型を利用し、直径 $10\text{ mm } \phi$ 、長さ 30 mm の丸棒状の連続鑄造材を作製する。得られた連続鑄造材を押出して押出材を作製する。押出は、油圧式押出機を用いて行う。押出温度は、試料No. 1等と同様に、第一元素の種類に応じて調整する（Feを含む試料：400、それ以外の試料：（上述の熱処理工程の加熱温度 - 30））。押出材は、直径 $3\text{ mm } \phi$ の丸棒である。この押出材に伸線加工を施し、最終線径（ $0.5\text{ mm } \phi$ ）の伸線材を作製する。ここでは、伸線ダイスを用いた冷間加工とする。得られた各試料の伸線材に、試料No. 1等と同様の条件で熱処理を施す。この熱処理工程の加熱温度は、上述のように第一元素等の種類に応じて調整している。

30

【0190】

（機械的特性、電気的特性）

得られた各試料の熱処理材（ $0.5\text{ mm } \phi$ の線材）について、導電率（% IACS）、引張強さ（MPa）、0.2%耐力（MPa）、破断伸び（%）を測定する。測定結果を表1～表20のうち、奇数番号の表に示す。

【0191】

導電率（% IACS）は、ブリッジ法により測定する。引張強さ（MPa）、0.2%耐力（MPa）、破断伸び（%）は、JIS Z 2241（金属材料引張試験方法、1998年）に準拠して、汎用の引張試験機を用いて測定する。

40

【0192】

（組織観察）

化合物粒子

得られた各試料の熱処理材（ $0.5\text{ mm } \phi$ の線材）について、以下の各断面をとり、各断面を顕微鏡によって適宜な倍率（例、10,000倍）で観察する。一つの断面は、線材の軸方向（長手方向）に平行な平面で切断した縦断面である。別の断面は、線材の軸方向に直交する平面で切断した横断面である。ここでは、観察にSEMを用いるが、金属顕微鏡を用いてもよい。いずれの試料の熱処理材も、縦断面及び横断面の双方において、母

50

相中に Al と第一元素等を含む化合物（例、 Al_3Fe_4 ）からなる粒子が分散した組織を有する。

【0193】

上述の縦断面及び横断面について、以下のようにして、上述の化合物粒子の長軸長さ（nm）、アスペクト比、所定の測定領域における上述の化合物粒子の個数及び面積比率（%）を測定する。

【0194】

各試料の熱処理材に対して縦断面及び横断面をそれぞれ一つ以上とる。ここでは、縦断面及び横断面のそれぞれについて、一辺の長さが $5\text{ }\mu\text{m}$ である正方形の測定領域を 10 個以上とる。なお、縦断面及び横断面をそれぞれ複数とり、各断面から一つ又は複数の上記測定領域をとり、縦断面について合計 10 個以上の測定領域、及び横断面について合計 10 個以上の測定領域をそれぞれとってもよい。

【0195】

化合物粒子の長軸長さ（nm）は、縦断面の測定領域に存在する全ての化合物粒子を抽出し、各化合物粒子の最大長さをその化合物粒子の長軸長さとする。全ての化合物粒子の長軸長さを求め、更にその平均値を求める。この平均値を縦断面における長軸長さとする。同様にして、横断面における長軸長さを求める。求めた結果を表 1～表 20 のうち、偶数番号の表に示す。上記最大長さ及び後述する最短長さ、個数、面積比率は、市販の画像処理装置等を利用すると容易に測定できる。例えば、面積比率の測定は二値化処理等の適宜な処理を画像処理装置によって行わせると、容易に測定できる。

【0196】

化合物粒子のアスペクト比は、化合物粒子の短軸長さに対する長軸長さの比、即ち長軸長さ／短軸長さとする。短軸長さ（nm）は、上述の各化合物粒子の最大長さをとる直線に対して直交する方向の線分をとり、これら線分の長さのうち、最大値とする。各化合物粒子の短軸長さ及び長軸長さをを用いて、各化合物粒子のアスペクト比を求める。縦断面の測定領域に存在する全ての化合物粒子のアスペクト比を求め、更にその平均値を求める。この平均値を縦断面におけるアスペクト比とする。同様にして、横断面におけるアスペクト比を求める。求めた結果を表 1～表 20 のうち、偶数番号の表に示す。

【0197】

化合物粒子の個数は、縦断面の測定領域に存在する全ての化合物粒子の個数を求め、更にその平均値とする。横断面における個数についても同様に求める。求めた結果を表 1～表 20 のうち、偶数番号の表に示す。

【0198】

面積比率（%）は、一つの測定領域の面積（ここでは $5\text{ }\mu\text{m} \times 5\text{ }\mu\text{m} = 25\text{ }\mu\text{m}^2$ ）に対する、この測定領域に存在する全ての化合物粒子の合計面積の百分率である。即ち、面積比率（%）は、（化合物粒子の合計面積／測定領域の面積） $\times 100$ である。縦断面の測定領域の面積比率を求め、更にその平均値を求める。この平均値を縦断面における面積比率とする。同様にして、横断面における面積比率を求める。求めた結果を表 1～表 20 のうち、偶数番号の表に示す。

【0199】

化合物の組成

上述の縦断面又は横断面において、XRD による構造解析を行い、化合物の構造を調べ、その結果を表 1～表 20 のうち、偶数番号の表に示す。また、化合物の構成元素の同定を行う。同定には、エネルギー分散型 X 線分光法（EDX）による測定装置を付属する透過型電子顕微鏡（TEM）等の局所的な成分分析が可能な装置を用いることが挙げられる。ここでは、TEM-EDX を用いる。この同定により、Fe 及び Nd を含む試料では、Fe と Al とを含む化合物に、Nd を含むことが確認できる。

【0200】

第一元素の固溶量

得られた各試料の熱処理材について、縦断面又は横断面をとり、母相中の第一元素の含

10

20

30

40

50

有量（質量％、原子％）を測定する。この測定には、上述のTEM-EDX等の局所的な成分分析が可能な装置を用いることが挙げられる。ここでは、TEM-EDXを用い、TEM像から母相を抽出して、母相中の第一元素の含有量を測定する。一つの断面から10個以上の測定領域をとり、各測定領域について第一元素の含有量を求め、更にその平均値を求める。この平均値を母相中の第一元素の含有量とし、表1～表20のうち、奇数番号の表に示す。

【0201】

【表1】

試料 No.	鑄造方法	第一元素			第二元素			導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
		種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	種類	含有量 (質量%)	Alに対する 含有割合 (原子%)	合金に対する 含有割合 (原子%)	
1	液体急冷法	Fe	2	0.98	0.60	0.29	-	-	160	65	18
2	液体急冷法	Fe	3	1.47	0.63	0.31	-	-	250	65	17
3	液体急冷法	Fe	3	1.47	0.58	0.28	Nd	0.03	260	67	17
4	液体急冷法	Fe	3	1.47	0.34	0.16	Nd	0.05	345	88	15
5	液体急冷法	Fe	3	1.47	0.30	0.15	Nd	0.50	398	94	10
6	液体急冷法	Fe	3	1.47	0.28	0.14	Nd	0.75	410	103	7
7	液体急冷法	Fe	4	1.97	0.65	0.32	-	-	280	70	16
8	液体急冷法	Fe	6	2.99	0.65	0.32	-	-	290	70	14
9	液体急冷法	Fe	6	2.99	0.63	0.31	Nd	0.03	295	73	14
10	液体急冷法	Fe	6	2.99	0.40	0.19	Nd	0.05	370	93	12
11	液体急冷法	Fe	6	2.99	0.33	0.16	Nd	0.50	420	98	10
12	液体急冷法	Fe	6	2.99	0.30	0.15	Nd	0.75	441	112	6
13	液体急冷法	Fe	8	4.03	0.69	0.33	-	-	310	75	12
14	液体急冷法	Fe	10	5.09	0.71	0.34	-	-	330	85	10
15	液体急冷法	Fe	10	5.09	0.66	0.32	Nd	0.03	326	88	10
16	液体急冷法	Fe	10	5.09	0.45	0.22	Nd	0.05	411	97	9
17	液体急冷法	Fe	10	5.09	0.36	0.17	Nd	0.50	442	100	7
18	液体急冷法	Fe	10	5.09	0.33	0.16	Nd	0.75	475	128	3
19	液体急冷法	Fe	12	6.18	0.73	0.35	-	-	360	130	3
20	モールド鑄造法	Fe	2	0.98	0.28	0.14	-	-	120	50	16
21	モールド鑄造法	Fe	3	1.47	0.38	0.18	-	-	130	55	12
22	モールド鑄造法	Fe	4	1.97	0.51	0.25	-	-	160	65	10
23	モールド鑄造法	Fe	6	2.99	0.52	0.25	-	-	220	85	3
24	モールド鑄造法	Fe	8	4.03	0.55	0.27	-	-	260	120	2
25	モールド鑄造法	Fe	10	5.09	0.54	0.26	-	-	300	145	2
26	モールド鑄造法	Fe	12	6.18	0.55	0.27	-	-	320	160	2

【0202】

【 表 2 】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物			縦断面における化合物				
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率
1	Al ₁₃ Fe ₄	70	2.1	210	0.65%	110	2.7	210	1.25%
2	Al ₁₃ Fe ₄	85	2.0	1,132	5.45%	110	2.8	961	5.54%
3	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	71	2.0	1,685	5.66%	104	3.3	1,210	5.29%
4	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	52	1.9	2,780	5.28%	70	2.8	2,274	5.31%
5	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	48	1.9	2,950	4.77%	61	2.7	2,660	4.89%
6	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	62	1.9	2,330	6.29%	84	2.6	1,348	4.88%
7	Al ₁₃ Fe ₄	100	2.2	1,264	7.66%	130	2.8	1,054	8.48%
8	Al ₁₃ Fe ₄	120	2.4	1,357	10.86%	160	2.9	1,248	14.69%
9	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	113	2.3	1,382	10.23%	155	3.8	1,720	14.50%
10	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	69	2.1	3,190	9.64%	94	3.1	3,673	13.96%
11	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	65	1.9	3,463	10.27%	90	2.8	3,526	13.60%
12	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	77	1.9	2,343	9.75%	96	2.7	2,166	9.86%
13	Al ₁₃ Fe ₄	130	2.4	1,406	13.20%	170	3.1	1,368	17.00%
14	Al ₁₃ Fe ₄	130	2.6	1,478	12.81%	180	3.1	1,418	19.76%
15	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	122	2.6	1,489	11.36%	168	3.0	1,442	18.09%
16	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	78	2.2	3,159	11.65%	105	2.4	3,110	19.05%
17	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	71	2.0	3,738	12.56%	98	2.3	3,491	19.44%
18	Al ₁₃ Fe ₄ (Ndを含む)	82	1.9	2,553	12.05%	151	2.8	1,722	18.70%
19	Al ₁₃ Fe ₄	200	2.7	733	14.48%	320	5.8	733	17.25%
20	Al ₁₃ Fe ₄	130	2.2	141	1.44%	590	7.1	62	4.05%
21	Al ₁₃ Fe ₄	150	2.3	401	5.23%	630	8.0	168	11.11%
22	Al ₁₃ Fe ₄	160	2.3	475	7.05%	760	9.5	253	20.51%
23	Al ₁₃ Fe ₄	160	2.5	541	7.39%	790	9.5	280	24.53%
24	Al ₁₃ Fe ₄	170	2.7	689	9.83%	890	8.5	285	35.41%
25	Al ₁₃ Fe ₄	170	3.1	792	9.84%	950	8.5	308	43.60%
26	Al ₁₃ Fe ₄	170	3.2	831	10.01%	980	9.0	318	45.25%

【 0 2 0 3 】

10

20

30

40

50

【表 3】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
31	液体急冷法	Cr	2	1.05	0.82	0.43	58	155	68	15
32	液体急冷法	Cr	3	1.58	0.84	0.44	57	253	73	13
33	液体急冷法	Cr	6	3.21	0.88	0.46	55	320	92	10
34	液体急冷法	Cr	8	4.32	1.1	0.57	47	350	143	3
35	モールド鑄造法	Cr	2	1.05	0.63	0.33	57	128	72	13
36	モールド鑄造法	Cr	3	1.58	0.65	0.34	55	142	84	9
37	モールド鑄造法	Cr	6	3.21	0.77	0.40	51	181	96	7
38	モールド鑄造法	Cr	8	4.32	0.93	0.48	48	236	102	2

【 0 2 0 4 】

10

20

30

40

50

【表 4】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物		
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ あたりの個数
31	Al ₄₅ Cr ₇	60	2.0	188	0.45%	143	3.6	226
32	Al ₄₅ Cr ₇	80	2.2	1,020	3.96%	153	3.7	964
33	Al ₄₅ Cr ₇	160	2.8	1,200	14.63%	218	3.6	1,030
34	Al ₄₅ Cr ₇	220	3.2	680	13.71%	424	6.3	675
35	Al ₄₅ Cr ₇	96	2.2	203	1.13%	950	9.2	37
36	Al ₄₅ Cr ₇	130	2.3	264	2.59%	833	10.5	202
37	Al ₄₅ Cr ₇	140	2.3	416	4.73%	917	11.3	315
38	Al ₄₅ Cr ₇	168	2.5	670	10.09%	920	12.0	420

【 0 2 0 5 】

10

20

30

40

50

【表 5】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
41	液体急冷法	Ni	3	1.40	0.95	0.44	57	183	74	14
42	液体急冷法	Ni	3.5	1.64	1.0	0.46	56	292	80	13
43	液体急冷法	Ni	5	2.36	1.1	0.51	55	340	98	10
44	液体急冷法	Ni	7	3.34	1.2	0.56	46	370	152	2
45	モールド鑄造法	Ni	2	0.93	0.88	0.41	58	155	84	12
46	モールド鑄造法	Ni	3.5	1.64	0.93	0.43	57	168	91	7
47	モールド鑄造法	Ni	5	2.36	1.0	0.46	53	195	112	4
48	モールド鑄造法	Ni	7	3.34	1.0	0.46	50	245	120	1

【 0 2 0 6 】

10

20

30

40

50

【表 6】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率
41	Al ₃ Ni	43	1.8	295	0.40%	93	2.9	226	0.90%
42	Al ₃ Ni	53	2.1	1,530	2.73%	132	3.5	994	6.60%
43	Al ₃ Ni	78	2.5	2,300	7.46%	203	3.9	1,350	19.08%
44	Al ₃ Ni	120	2.8	1,030	7.06%	306	4.8	865	22.48%
45	Al ₃ Ni	74	2.0	300	1.11%	630	7.2	37	2.75%
46	Al ₃ Ni	88	2.1	399	1.98%	583	7.6	202	12.04%
47	Al ₃ Ni	133	2.2	720	7.72%	708	9.3	315	22.66%
48	Al ₃ Ni	171	2.2	1,020	18.03%	760	10.1	420	32.03%

【 0 2 0 7 】

10

20

30

40

50

【表 7】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
51	液体急冷法	Co	3	1.40	0.40	0.18	60	164	63	21
52	液体急冷法	Co	3.5	1.63	0.53	0.24	58	250	66	17
53	液体急冷法	Co	4	1.87	0.56	0.26	52	320	82	10
54	液体急冷法	Co	6	2.84	0.71	0.33	48	340	99	5
55	モールド鑄造法	Co	3	1.40	0.36	0.17	59	116	48	17
56	モールド鑄造法	Co	3.5	1.63	0.38	0.17	58	129	49	12
57	モールド鑄造法	Co	4	1.87	0.46	0.21	55	141	74	8
58	モールド鑄造法	Co	6	2.84	0.53	0.24	52	183	78	3

【 0 2 0 8 】

10

20

30

40

50

【表 8】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率
51	Al ₉ Co ₂	76	2.1	139	0.51%	131	3.4	266	1.79%
52	Al ₉ Co ₂	83	2.4	961	3.68%	127	3.4	1,022	6.43%
53	Al ₉ Co ₂	110	2.8	1,110	6.40%	188	3.3	1,360	19.42%
54	Al ₉ Co ₂	163	3.3	550	5.90%	359	5.5	864	26.97%
55	Al ₉ Co ₂	125	2.3	98	0.88%	660	8.5	53	3.61%
56	Al ₉ Co ₂	150	2.5	183	2.18%	608	9.0	224	12.28%
57	Al ₉ Co ₂	193	2.8	328	5.83%	942	10.8	301	32.95%
58	Al ₉ Co ₂	216	3.5	830	14.70%	1,000	12.0	343	38.11%

【 0 2 0 9 】

10

20

30

40

50

【表 9】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
61	液体急冷法	Ti	2	1.14	0.70	0.40	57	184	75	15
62	液体急冷法	Ti	3	1.71	0.73	0.41	55	273	83	13
63	液体急冷法	Ti	7	4.07	0.75	0.42	50	361	94	10
64	液体急冷法	Ti	9	5.28	0.86	0.49	45	370	115	2
65	モールド鑄造法	Ti	2	1.14	0.58	0.33	58	160	63	12
66	モールド鑄造法	Ti	3	1.71	0.62	0.35	56	177	69	8
67	モールド鑄造法	Ti	7	4.07	0.65	0.37	49	224	83	4
68	モールド鑄造法	Ti	8	4.67	0.69	0.39	47	248	90	1

【 0 2 1 0 】

10

20

30

40

50

【表 1 0】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率
61	Al ₃ Ti	47	1.9	364	0.56%	78	2.9	215	0.60%
62	Al ₃ Ti	60	2.0	2,110	5.06%	115	2.8	970	6.11%
63	Al ₃ Ti	86	2.4	2,840	11.67%	174	2.6	1,230	19.10%
64	Al ₃ Ti	135	2.7	1,230	11.07%	330	3.8	670	25.60%
65	Al ₃ Ti	84	1.8	328	1.71%	480	8.3	48	1.79%
66	Al ₃ Ti	103	1.9	495	3.66%	408	9.4	148	3.51%
67	Al ₃ Ti	140	2.3	924	10.50%	558	11.6	245	8.78%
68	Al ₃ Ti	183	2.7	1,230	20.43%	576	12.8	270	9.31%

【 0 2 1 1】

10

20

30

40

50

【表 1 1】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
71	液体急冷法	Sc	1.5	0.91	0.12	0.07	58	220	83	14
72	液体急冷法	Sc	2.5	1.52	0.15	0.09	57	310	91	12
73	液体急冷法	Sc	5	3.06	0.18	0.11	53	395	98	10
74	液体急冷法	Sc	7	4.32	0.24	0.14	49	410	135	3
75	モールド鑄造法	Sc	1.5	0.91	0.11	0.07	59	160	72	10
76	モールド鑄造法	Sc	2.5	1.52	0.13	0.08	58	177	76	7
77	モールド鑄造法	Sc	5	3.06	0.14	0.08	52	224	93	2
78	モールド鑄造法	Sc	7	4.32	0.16	0.10	49	248	97	1

【 0 2 1 2 】

10

20

30

40

50

【表 1 2】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率
71	Al ₃ Sc	33	1.8	416	0.34%	66	2.8	249	0.52%
72	Al ₃ Sc	48	1.9	2,540	4.11%	104	2.7	1,020	5.45%
73	Al ₃ Sc	61	2.3	3,550	7.66%	150	2.5	1,410	16.92%
74	Al ₃ Sc	89	2.5	1,710	7.22%	380	3.2	510	30.69%
75	Al ₃ Sc	48	1.8	278	0.47%	330	7.6	62	1.18%
76	Al ₃ Sc	60	1.8	414	1.10%	300	9.0	196	2.61%
77	Al ₃ Sc	91	2.1	1,032	5.43%	433	11.1	291	6.55%
78	Al ₃ Sc	123	2.4	1,440	12.14%	448	12.0	361	8.04%

【 0 2 1 3】

10

20

30

40

50

【表 1 3】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
81	液体急冷法	Zr	3	0.91	0.17	0.05	55	205	73	15
82	液体急冷法	Zr	5	1.53	0.18	0.05	52	277	79	13
83	液体急冷法	Zr	6	1.85	0.19	0.06	50	361	85	10
84	液体急冷法	Zr	8	2.51	0.21	0.06	44	380	103	4
85	モールド鑄造法	Zr	3	0.91	0.16	0.05	56	148	68	12
86	モールド鑄造法	Zr	5	1.53	0.18	0.05	53	162	71	8
87	モールド鑄造法	Zr	6	1.85	0.19	0.06	48	209	82	3
88	モールド鑄造法	Zr	8	2.51	0.19	0.06	45	228	84	2

【 0 2 1 4】

10

20

30

40

50

【表 1 4】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率
81	Al ₃ Zr	32	1.9	436	0.31%	58	2.6	263	0.45%
82	Al ₃ Zr	44	1.9	2,660	3.61%	117	2.5	985	7.19%
83	Al ₃ Zr	58	2.2	3,720	7.58%	153	2.3	1,450	19.68%
84	Al ₃ Zr	86	2.3	1,800	7.72%	360	2.8	453	27.96%
85	Al ₃ Zr	47	1.8	300	0.49%	320	7.0	73	1.42%
86	Al ₃ Zr	60	1.9	429	1.08%	283	8.1	213	2.81%
87	Al ₃ Zr	90	2.1	1,080	5.51%	392	9.7	333	7.01%
88	Al ₃ Zr	109	2.3	1,475	10.20%	408	10.4	427	9.11%

【 0 2 1 5】

10

20

30

40

50

【表 1 5】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
91	液体急冷法	Nb	3	0.89	0.48	0.14	56	190	61	17
92	液体急冷法	Nb	5	1.51	0.50	0.15	53	267	70	15
93	液体急冷法	Nb	10	3.13	0.51	0.15	50	330	77	10
94	液体急冷法	Nb	12	3.81	0.55	0.16	46	347	89	5
95	モールド鑄造法	Nb	3	0.89	0.24	0.07	58	138	54	14
96	モールド鑄造法	Nb	5	1.51	0.25	0.07	56	157	58	10
97	モールド鑄造法	Nb	10	3.13	0.28	0.08	51	200	69	6
98	モールド鑄造法	Nb	12	3.81	0.31	0.09	48	217	73	2

【 0 2 1 6】

10

20

30

40

50

【表 1 6】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 μm×5 μm あたりの個数	面積比率
91	Al ₃ Nb	36	2.0	477	0.41%	59	2.9	229	0.37%
92	Al ₃ Nb	47	2.1	3,380	4.74%	120	2.6	1,060	7.83%
93	Al ₃ Nb	66	2.3	4,080	10.30%	158	2.4	1,378	19.11%
94	Al ₃ Nb	90	2.6	2,280	9.47%	280	4.2	855	21.28%
95	Al ₃ Nb	46	1.9	400	0.58%	390	9.3	62	1.34%
96	Al ₃ Nb	62	2.1	519	1.28%	367	10.8	106	1.77%
97	Al ₃ Nb	88	2.4	1,112	4.81%	500	12.3	238	6.45%
98	Al ₃ Nb	113	2.8	1,595	9.77%	512	14.7	263	6.24%

【 0 2 1 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 7】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
101	液体急冷法	Hf	8	1.30	0.32	0.05	58	216	82	16
102	液体急冷法	Hf	10	1.65	0.34	0.05	56	286	88	14
103	液体急冷法	Hf	24	4.56	0.37	0.06	52	366	94	10
104	液体急冷法	Hf	26	5.04	0.41	0.06	49	385	114	2
105	モールド鑄造法	Hf	8	1.30	0.17	0.03	58	152	71	11
106	モールド鑄造法	Hf	10	1.65	0.18	0.03	56	168	78	7
107	モールド鑄造法	Hf	24	4.56	0.22	0.03	51	225	86	2
108	モールド鑄造法	Hf	26	5.04	0.24	0.04	48	247	93	1

【 0 2 1 8 】

10

20

30

40

50

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5μm×5μm あたりの個数	面積比率
101	Al ₃ Hf	30	1.9	526	0.33%	55	2.5	275	0.44%
102	Al ₃ Hf	41	2.0	3,600	4.03%	94	2.4	1,130	5.55%
103	Al ₃ Hf	58	2.1	4,450	9.50%	142	2.2	1,480	18.09%
104	Al ₃ Hf	78	2.4	2,690	9.09%	241	2.6	990	29.49%
105	Al ₃ Hf	42	1.9	470	0.58%	373	8.3	55	1.23%
106	Al ₃ Hf	57	2.0	651	1.42%	343	9.2	104	1.76%
107	Al ₃ Hf	84	2.2	1,240	5.30%	458	10.3	207	5.62%
108	Al ₃ Hf	105	2.4	1,710	10.47%	464	11.0	221	5.75%

【表 1 9】

試料 No.	鑄造方法	第一元素 種類	含有量 (質量%)	含有量 (原子%)	Al相中 固溶量 (質量%)	Al相中 固溶量 (原子%)	導電率 (IACS%)	引張 強さ (MPa)	0.2% 耐力 (%)	破断 伸び (%)
111	液体急冷法	Ta	8.5	1.37	0.56	0.08	56	186	69	17
112	液体急冷法	Ta	9.5	1.54	0.67	0.10	53	268	73	15
113	液体急冷法	Ta	20	3.59	0.82	0.12	50	321	81	10
114	液体急冷法	Ta	22	4.04	0.88	0.13	45	340	88	5
115	モールド鑄造法	Ta	8.5	1.37	0.34	0.05	55	132	57	18
116	モールド鑄造法	Ta	9.5	1.54	0.36	0.05	50	151	58	14
117	モールド鑄造法	Ta	20	3.59	0.41	0.06	48	198	73	8
118	モールド鑄造法	Ta	22	4.04	0.51	0.08	43	218	81	3

【 0 2 2 0 】

10

20

30

40

50

【表 20】

試料 No.	化合物 組成	横断面における化合物				縦断面における化合物			
		長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ あたりの個数	面積比率	長軸長さ (nm)	アスペクト比	5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ あたりの個数	面積比率
111	Al ₃ Ta	40	2.1	494	0.50%	59	2.8	229	0.38%
112	Al ₃ Ta	48	2.3	2,550	3.41%	103	2.6	1,032	5.61%
113	Al ₃ Ta	63	2.5	3,960	8.38%	148	2.4	1,410	17.16%
114	Al ₃ Ta	79	2.8	2,530	7.52%	235	2.6	783	22.17%
115	Al ₃ Ta	47	2.0	450	0.66%	409	9.6	48	1.12%
116	Al ₃ Ta	68	2.2	603	1.67%	353	10.0	95	1.58%
117	Al ₃ Ta	97	2.5	1,148	5.71%	500	13.4	144	3.57%
118	Al ₃ Ta	115	2.7	1,540	10.02%	544	15.2	154	4.00%

【0221】

以下、特に断りが無い限り、第一元素が同じ試料同士を比較する。

(組成と強度及び導電率)

表1～表20のうち、奇数番号の表に示すように、急冷法の試料群において、第一元素の含有量が最も少ない試料(No. 1, No. 31等)及び第一元素の含有量が最も多い試料(No. 19, No. 34等)と、これらの以外の試料群(No. 32～No. 33, No. 42～No. 43等)とを比較する。Feを含む試料については、Ndを含んでいない試料群(No. 2, No. 7, No. 8, No. 13, No. 14)を比較する。上記試料群のAl合金線は、第一元素の含有量が最少の試料よりも引張強さが高く、強度

10

20

30

40

50

に優れる。また、上記試料群の A 1 合金線は、第一元素の含有量が最多の試料よりも導電率が高く、導電性に優れる。

【 0 2 2 2 】

鑄造法の試料群において、第一元素の含有量が最も少ない試料 (N o . 2 0 , N o . 3 5 等) 及び第一元素の含有量が最も多い試料 (N o . 2 6 , N o . 3 8 等) と、これらの以外の試料群 (N o . 2 1 ~ N o . 2 5 , N o . 3 6 ~ N o . 3 7 等) とを比較する。上記試料群の A 1 合金線は、第一元素の含有量が最少の試料よりも引張強さが高く、強度に優れると共に、第一元素の含有量が最多の試料よりも導電率が高く、導電性に優れる。

【 0 2 2 3 】

上記試料群の A 1 合金線が高強度である理由の一つとして、第一元素が最少の試料よりも第一元素を多く含むことが考えられる。例えば、F e を含む試料群の A 1 合金線では、F e を 2 質量 % 超、ここでは 3 質量 % 以上含む。また、上記試料群の A 1 合金線は、上述の S E M 観察にあるように第一元素等が A 1 との化合物として存在するためと考えられる。第一元素がある程度多いことで、上記化合物の分散強化による強度の向上効果を得易いと考えられる。

10

【 0 2 2 4 】

上記試料群の A 1 合金線が高導電性である理由の一つとして、第一元素が最多の試料よりも第一元素が少ないことが考えられる。例えば、F e を含む試料群の A 1 合金線では、1 2 質量 % 未満、ここでは 1 0 質量 % 以下 (5 . 1 原子 % 以下) の範囲で F e を含む。また、上記試料群の A 1 合金線は、上述のように第一元素等が上記化合物として存在するためと考えられる。第一元素が多過ぎず、かつ上記化合物として存在すれば、母相中の第一元素の固溶量を低減して母相中の A 1 純度を高められると考えられる。また、上記化合物が多過ぎず、上記化合物が母相の導電パスを妨げ難いと考えられる。これらのことから、導電性に優れると考えられる。

20

【 0 2 2 5 】

(組織と強度及び導電率)

以下、急冷法の試料群の A 1 合金線と、鑄造法の試料群の A 1 合金線とについて、上述の第一元素の含有量が最少の試料及び最多の試料以外の試料群 (N o . 3 2 ~ N o . 3 3 と N o . 3 6 ~ N o . 3 7 等、以下、特定試料群と呼ぶ) に着目する。F e を含む試料については、N d を含まない試料群 (N o . 2 , N o . 7 , N o . 8 , N o . 1 3 , N o . 1 4 と N o . 2 1 ~ N o . 2 5) を特定試料群とする。特定試料群では、第一元素の種類が同じ試料であって、第一元素の含有量が同じ試料同士で比較する。

30

【 0 2 2 6 】

同じ組成であっても、急冷法の特定試料群の A 1 合金線と、鑄造法の特定試料群の A 1 合金線とでは、引張強さ及び導電率が異なる。急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、鑄造法の特定試料群よりも引張強さが高い。急冷法の特定試料群のなかには、引張強さ及び導電率の双方が鑄造法の特定試料群よりも高い試料もある。定量的には、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、引張強さが 2 5 0 M P a 以上、かつ導電率が 5 0 % I A C S 以上であり、高強度と高導電率とをバランスよく備える。この理由の一つとして、表 1 ~ 表 2 0 のうち、偶数番号の表に示すように急冷法の特定試料群と鑄造法の特定試料群とは、A 1 と第一元素とを含む化合物の存在状態が異なることが考えられる。

40

【 0 2 2 7 】

化合物の大きさと形状

上記偶数番号の表の縦断面における化合物の欄に示すように、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、鑄造法の特定試料群よりも上記化合物からなる粒子の長軸長さが短い。詳しくは急冷法の特定試料群における上記化合物粒子の長軸長さは 5 0 0 n m 以下である。ここでは上記長軸長さは 3 5 0 n m 以下、更に 2 2 0 n m 以下である。試料によっては、上記長軸長さは 2 0 0 n m 以下である。また、急冷法の特定試料群における上記長軸長さは、鑄造法の特定試料群における長軸長さの 1 / 2 以下であり、1 / 3 以下の試料も多く、非常に微細といえる。

50

【 0 2 2 8 】

また、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、鑄造法の特定試料群よりも上記化合物からなる粒子のアスペクト比が小さい。詳しくは急冷法の特定試料群における上記化合物粒子のアスペクト比は 5 以下ある。ここでは上記アスペクト比は 4 以下であり、3 . 5 以下、更に 3 . 2 以下、3 . 0 以下の試料もある。また、急冷法の特定試料群における上記アスペクト比は、鑄造法の特定試料群におけるアスペクト比 (7 . 6 以上) の半分以下であり、1 / 3 以下の試料も多い。そのため、急冷法の特定試料群の上記化合物粒子は、鑄造法の特定試料群よりも球状に近いといえる。

【 0 2 2 9 】

上記化合物粒子は、微細であったり、球状に近かったりすることで均一的に分散し易い。そのため、上述の急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、以下の二つの効果を良好に得られると考えられる。

(効果 1) 上記化合物粒子の分散強化による強度の向上効果。

(効果 2) 母相への第一元素の固溶量の低減と上記化合物粒子による母相の導電パス阻害の低減とに基づく高い導電率の具備効果。

【 0 2 3 0 】

この試験では、上述の急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、上記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下かつアスペクト比が 5 以下の双方を満たす。そのため、上記 A 1 合金線は、上記化合物粒子が更に均一的に分散し易く、上述の強度の向上効果及び高い導電率の具備効果をより得易いと考えられる。

【 0 2 3 1 】

また、この試験では、上記偶数番号の表の横断面における化合物の欄に示すように、上述の急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、横断面における上記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下かつアスペクト比が 5 以下の双方を満たす。ここでは、横断面における上記化合物粒子の長軸長さが 1 6 0 n m 以下、更に 1 5 0 n m 以下の試料も多く、より微細である。横断面における上記化合物粒子のアスペクト比は 2 . 8 以下であり、2 . 6 以下の試料も多く、より球状に近い。

【 0 2 3 2 】

縦断面及び横断面の双方において、上記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下であれば、化合物粒子の大きさの異方性が小さく、任意の方向からみて微細な粒子といえる。縦断面における化合物粒子の長軸長さは、横断面における化合物粒子の長軸長さの 2 . 8 倍以下であり、2 . 5 倍以下、更に 2 . 0 倍以下、1 . 5 倍以下の試料もある。このことから、上記異方性が小さいといえる。

【 0 2 3 3 】

縦断面及び横断面の双方において、上記化合物粒子のアスペクト比が 5 以下であれば、化合物粒子の形状の異方性が小さく、任意の方向からみて球状に近い粒子といえる。縦断面における化合物粒子のアスペクト比は、横断面における化合物粒子のアスペクト比の 1 . 8 倍以下であり、1 . 5 倍以下の試料も多い。このことから、上記異方性が小さいといえる。

【 0 2 3 4 】

このように任意の方向からみて上記化合物粒子の大きさの異方性、形状の異方性が小さいことに加えて、上記化合物粒子が微細で球状に近いことによって A 1 合金線の全体に亘って均一的に分散して存在し易い。そのため、上述の急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、上述の強度の向上効果及び高い導電率の具備効果をより一層得易いと考えられる。

【 0 2 3 5 】

化合物の個数と面積

上記偶数番号の表に示すように、急冷法の特定試料群の A 1 合金線と鑄造法の特定試料群とは、縦断面及び横断面における単位面積当たり (ここでは 5 μ m $\times$ 5 μ m) の上記化合物粒子の個数及び上記化合物粒子の面積比率が異なる。

【 0 2 3 6 】

詳しくは、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、以下を満たす。

縦断面において上述の個数が 9 5 0 個以上 1 5 0 0 個以下を満たすと共に、上述の面積比率が 5 % 以上 2 0 % 以下を満たす。ここでは上記個数は 9 6 0 個以上 1 4 8 0 個以下である。

横断面において上述の個数が 9 5 0 個以上 4 5 0 0 個以下を満たすと共に、上述の面積比率が 2 . 5 % 以上 2 0 % 以下を満たす。ここでは上記個数は 9 6 0 個以上 4 4 8 0 個以下である。

【 0 2 3 7 】

このような急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、任意の方向からみて化合物粒子の存在量が類似しており、化合物粒子の存在状態の異方性が小さいといえる。更に、上記個数と上記面積比率とが上記範囲を満たすことで、一つの化合物粒子の面積が小さく、微細であるといえる。このことは、上述の長軸長さが 5 0 0 n m 以下と短いことから裏付けられる。

10

【 0 2 3 8 】

これらのことから、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、第一元素を含む化合物の量が適切である上に、線全体に亘って万遍無く均一的に、微細な上記化合物粒子が存在するといえる。そのため、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、上述の（効果 1 ）及び（効果 2 ）を良好に得られると考えられる。

【 0 2 3 9 】

これに対し、鋳造法の特定試料群の A 1 合金線は、特に縦断面における上記面積比率と横断面における上記面積比率とが大きく異なる。そのため、化合物粒子の存在状態の異方性が大きいといえる。特に、縦断面における個数が少ない上に、面積比率が大きい又は急冷法の特定試料群と同程度である。そのため、一つの化合物粒子の面積が大きく、粗大な粒子であるといえる。このことは、鋳造法の特定試料群における上記長軸長さが急冷法の特定試料群よりも長いことから裏付けられる。また、鋳造法の特定試料群の A 1 合金線では、上記長軸長さが 5 0 0 n m を超える試料があることから裏付けられる。鋳造法の特定試料群において化合物粒子が長い理由の一つとして、上述の鋳造時に第一元素の少なくとも一部が析出し、この第一元素を含む析出物が存在する鋳造材を伸線素材に用いたことが考えられる。伸線時に上記析出物が引き伸ばされて、上記長軸長さが長くなったと考えられる。

20

30

【 0 2 4 0 】

この試験では、急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、縦断面及び横断面において、単位面積当たり（ここでは $5 \mu m \times 5 \mu m$ ）の上記化合物粒子の個数及び上記化合物粒子の面積比率が上述の範囲を満たすと共に、上記化合物粒子の長軸長さが 5 0 0 n m 以下かつアスペクト比が 5 以下の双方を満たす。急冷法の特定試料群の A 1 合金線は、このように上記化合物粒子について、大きさの異方性、形状の異方性、かつ存在状態の異方性が小さいことに加えて、A 1 合金線の全体に亘って、微細で球状に近い上記化合物粒子が均一的に分散する。そのため、上述の高い引張強さと高い導電率とをより有し易いと考えられる。特に、第一元素が主として上記化合物粒子として存在し、この化合物粒子がある程度多く存在するものの上述のように微細であることで母相の導電パスを阻害し難いと考えられる。また、母相中の第一元素の含有量が 0 . 5 5 原子 % 未満と少なく、母相の A 1 の純度を高められたと考えられる。これらのことから、導電性をより高められたと考えられる。

40

【 0 2 4 1 】

鋳造法の特定試料群の A 1 合金線では、母相中の第一元素の含有量が急冷法の特定試料群と同等又はそれ以下である。しかし、鋳造法の特定試料群の A 1 合金線では、導電性が低い化合物粒子が線材の軸方向に引き伸ばされて、軸方向に連続して存在することで、母相の導電パスを阻害し易くなり、導電率が低いと考えられる。

【 0 2 4 2 】

第一元素の種類による比較

その他、この試験では、急冷法の特定試料群の A 1 合金線について、第一元素が異なる

50

試料同士で比較すると、以下のことがいえる。

(1) 第一元素が Fe, Cr であると、横断面及び縦断面の双方において、Al と第一元素とを含む化合物粒子の大きさ、形状、個数、面積比率が概ね等しい。そのため、化合物粒子の大きさ等に関する異方性がより小さい。

(2) 第一元素が Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Sc, Hf であると、導電性により優れる。例えば、55% IACS 以上という高い導電率を有する試料がある。更に、55% IACS 以上という高い導電率と、280 MPa 以上、更に 300 MPa 以上という高い引張強さを有する試料がある。

(3) 第一元素が Ti, Sc, Zr, Nb, Hf, Ta であると、Al と第一元素とを含む化合物粒子がより微細になり易い。このことは、例えば第一元素が Fe や Cr である場合に比較して、横断面における化合物粒子の面積比率が同等程度である場合に個数がより多いことから裏付けられる。

10

【0243】

第二元素の含有

以下、表1, 表2を参照し、第一元素が Fe である試料に着目する。

Fe を含み、Nd を含まない試料 No. 2, No. 8, No. 14 と、Fe 及び Nd を含む試料 No. 3 ~ No. 6, No. 9 ~ No. 12, No. 15 ~ No. 18 について、Fe の含有量が同じ試料同士を比較する。この比較から、Nd を含む試料群は、引張強さがより高い傾向にあることが分かる。Nd の含有量が最も少ない試料 (No. 3, No. 9, No. 15) 及び Nd の含有量が最も多い試料 (No. 6, No. 12, No. 18) と、これら以外の試料群 (No. 4, No. 5, No. 10, No. 11, No. 16, No. 17) とを比較する。この比較から、上記試料群の Al 合金線は、引張強さが 345 MPa 以上であり、強度がより高いといえる。上記試料群では、Fe の含有量が多いほど、引張強さが高く、370 MPa 以上、更に 400 MPa 以上である試料がある。また、上記試料群の Al 合金線は、導電率が 50% IACS 以上であり、導電性にも優れる。

20

【0244】

Nd を含む上述の試料群が高い導電率を有しつつ、強度により優れる理由の一つとして、Al と Fe と Nd とを含む化合物がより小さいことが考えられる。また、上記化合物からなる粒子の個数がより多いことが考えられる。更に、母相に対する Fe の固溶量がより少ないことが考えられる。

30

【0245】

詳しくは、上記試料群の Al 合金線では、縦断面及び横断面の双方において、化合物粒子の長軸長さが 105 nm 以下であり、100 nm 未満の試料も多い。即ち、Fe 及び Nd を含む場合の上記長軸長さは、Fe を含み、Nd を含まない場合よりも小さい。また、上記試料群の Al 合金線では、縦断面及び横断面の双方において、化合物粒子のアスペクト比が 3.3 未満である。このような上記試料群の Al 合金線では、上記化合物粒子がより微細で、球状により近いといえる。

【0246】

更に、上記試料群の Al 合金線では、縦断面及び横断面の双方において化合物粒子の個数が 2200 個以上 3800 個以下を満たし、かつ面積比率が 4.5% 以上 20% 以下を満たす。このことから、上記試料群の Al 合金線では、上記化合物粒子が微細であるといえる。従って、上記試料群の Al 合金線は、非常に微細な化合物粒子が母相により均一的に分散し易いといえる。

40

【0247】

その上、上記試料群の Al 合金線は、母相に対する Fe の固溶量が 0.28 原子% 未満である。このような上記試料群の Al 合金線は、上述の (効果1) 及び (効果2) をより一層良好に得られると考えられる。

【0248】

その他の機械的特性

50

急冷法の試料群において、上述の第一元素の含有量が最少の試料及び最多の試料と、これらの以外の試料群（特定試料群）とを比較する。Ndを含む試料については、上述のNdの含有量が最少の試料及び最多の試料と、これらの以外の試料群（特定試料群と呼ぶ）とを比較する。表1～表20のうち、奇数番号の表に示すように急冷法の特定試料群のAl合金線は、0.2%耐力や破断伸びも高い。詳しくは、0.2%耐力が50MPa以上、更に65MPa以上である。このことから急冷法の特定試料群のAl合金線は、強度に優れる。また、急冷法の特定試料群のAl合金線では、多くの試料の破断伸びが10%以上、更には12%以上である。400MPa以上というより高い引張強さを有する試料No.16, No.17でも、7%以上という高い破断伸びを有する。このことから、急冷法の特定試料群のAl合金線は、高強度でありながら靱性にも優れ、曲げや繰り返しの屈曲等が行い易いといえる。更に、急冷法の特定試料群のAl合金線では、0.2%耐力が高過ぎず、ここでは100MPa以下であり、90MPa以下の試料も多い。このことから、上記Al合金線は、曲げや繰り返しの屈曲等が行い易いといえる。

10

【0249】

まとめ

以上のことから、第一元素を合計で1.4原子%超5.1原子%以下含むAl基合金からなり、高い引張強さと高い導電率とをバランスよく備えるAl合金線が示された。特に、高強度で導電性に優れるAl合金線は、第一元素が実質的に化合物粒子として母相に分散して存在する組織を有すること、好ましくは微細で球状に近い化合物粒子が均一的に分散して存在する組織を有することが示された。

20

【0250】

第一元素がFeである場合、Feを上記範囲で含むと共に、Ndを0.006原子%超0.1原子%以下含むAl基合金からなるAl合金線は、更に高い引張強さを有し、強度により優れることが示された。また、このAl基合金線は、より微細で球状に近い化合物粒子が母相に分散する組織を有することが示された。

【0251】

更に、このような高強度で高導電率を有するAl合金線は、第一元素等が実質的に析出していない状態で伸線加工を施し、伸線後に熱処理を施して第一元素等を析出させることで得られることが示された。特に、伸線加工に供する素材を製造する過程では、以下のことがいえる。

30

(1) 溶湯の冷却速度を極めて速くして薄帯状等とすることで第一元素等が実質的に析出しない。

(2) 上記薄帯等に第一元素等が実質的に析出しない条件で加工を行うことで、得られた加工材に伸線加工を良好に行える。

(3) 第一元素の種類に応じて熱処理時の加熱温度を調整することで第一元素等を十分に析出できる。

【0252】

本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

例えば、試験例1において、添加元素の含有量、線径、製造条件（湯温、鋳造時の冷却速度、押出条件、熱処理条件等）、伸線加工に供する素材の形態等を適宜変更できる。Al基合金の添加元素として複数種の第一元素を含んでもよい。

40

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

C 2 2 F	1/00 (2006.01)	B 2 2 F	5/12	
B 2 2 F	3/14 (2006.01)	C 2 2 F	1/00	6 2 5
B 2 2 F	3/20 (2006.01)	C 2 2 F	1/00	6 0 3
		C 2 2 F	1/00	6 3 0 A
		C 2 2 F	1/00	6 6 1 A
		C 2 2 F	1/00	6 3 0 B
		C 2 2 F	1/00	6 3 0 K
		C 2 2 F	1/00	6 8 5 Z
		C 2 2 F	1/00	6 8 6 A
		C 2 2 F	1/00	6 9 1 B
		C 2 2 F	1/00	6 9 1 C
		C 2 2 F	1/00	6 9 1
		B 2 2 F	3/14	A
		B 2 2 F	3/20	D

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内

(72)発明者 荻原 寛之

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内

審査官 川口 由紀子

(56)参考文献 特開 2 0 1 4 - 1 9 4 0 7 8 (J P , A)

特開 2 0 1 8 - 0 1 2 8 6 9 (J P , A)

特開昭 4 7 - 0 0 2 9 0 3 (J P , A)

特開昭 6 0 - 2 4 7 4 4 3 (J P , A)

特開平 0 6 - 2 3 5 0 4 0 (J P , A)

特開平 0 6 - 1 8 4 7 1 2 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

C 2 2 C 2 1 / 0 0

C 2 2 F 1 / 0 4

B 2 2 F 9 / 0 8

B 2 2 F 9 / 0 4

B 2 2 F 5 / 1 2

C 2 2 F 1 / 0 0

B 2 2 F 3 / 1 4

B 2 2 F 3 / 2 0