

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関

国際事務局

(43) 国際公開日

2021年12月9日(09.12.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/246267 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 21/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号 :

PCT/JP2021/020104

(22) 国際出願日 :

2021年5月27日(27.05.2021)

(25) 国際出願の言語 :

日本語

(26) 国際公開の言語 :

日本語

(30) 優先権データ :

特願 2020-096333 2020年6月2日(02.06.2020) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY)

[JP/JP]; 〒3191184 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 戸田 裕之(TODA Hiroyuki); 〒8190395

福岡県福岡市西区元岡744 国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 清水 一行(SHIMIZU Kazuyuki); 〒0208551 岩手県盛岡市上田4丁目3番5号 国立大学法人岩手大学内 Iwate (JP).

山口 正剛(YAMAGUCHI Masatake); 〒3191195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所内 Ibaraki (JP).

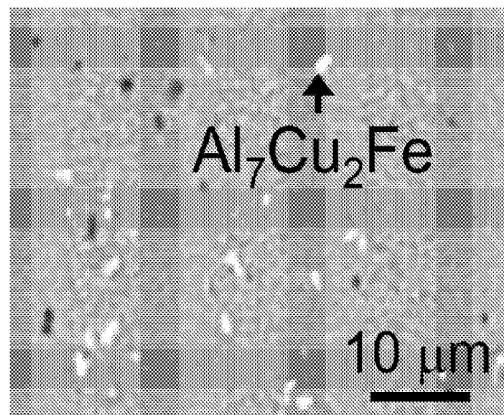
(74) 代理人: 特許業務法人特許事務所サイクス(SIKs & Co.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目8番7号 京橋日殖ビル8階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) Title: ALUMINUM ALLOY MATERIAL AND HYDROGEN EMBRITTLEMENT INHIBITOR FOR ALUMINUM ALLOY MATERIALS

(54) 発明の名称: アルミニウム合金材およびアルミニウム合金材の水素脆化防止剤

〔図1〕



(57) Abstract: An aluminum alloy material which has an aluminum alloy composition (1) described below. Aluminum alloy composition (1) contains 0.30% by mass or less of Si, more than 0.35% by mass of Fe, 0.20% by mass or less of Cu, from 0.20% by mass to 0.70% by mass of Mn, from 1.0% by mass to 2.0% by mass of Mg, 0.30% by mass or less of Cr, from 4.0% by mass to 5.0% by mass of Zn, 0.10% by mass or less of V, 0.25% by mass or less of Zr and 0.20% by mass or less of Ti, while additionally containing Al.

(57) 要約: アルミニウム合金組成が、下記アルミニウム合金組成(1)である、アルミニウム合金材。アルミニウム合金組成(1) Si: 0.30質量%以下、Fe: 0.35質量%超、Cu: 0.20質量%以下、Mn: 0.20~0.70質量%、Mg: 1.0~2.0質量%、Cr: 0.30質量%以下、Zn: 4.0~5.0質量%、V: 0.10質量%以下、Zr: 0.25質量%以下、Ti: 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

WO 2021/246267 A1

〔続葉有〕



BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ヨーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称 :

アルミニウム合金材およびアルミニウム合金材の水素脆化防止剤

技術分野

[0001] 本発明は、アルミニウム合金材およびアルミニウム合金材の水素脆化防止剤に関する。

背景技術

[0002] 広範な用途を有するアルミニウム合金材は、水素脆化割れが生じる問題があり、この問題を解消することが提案されてきている（特許文献1～4参照）。

[0003] 特許文献1には、質量%にて、Zn : 4.0～6.7%、Mg : 0.75～2.9%、Cu : 0.001～2.6%、Si : 0.05～0.40%、Ti : 0.005～0.20%、Fe : 0.01～0.5%を各々含み、更に、Mn : 0.01～0.7%、Cr : 0.02～0.3%、Zr : 0.01～0.25%、V : 0.01～0.10%の一種または二種以上を、 $1.0\% \geq Fe + Mn + Cr + Zr + V \geq 0.1\%$ の関係を満足した上で含み、残部がAlおよび不可避不純物からなるアルミニウム合金組成を有するとともに、導電率(% IACS)が、前記Fe、Mn、Cr、Zr、Vの合計含有量との関係で、導電率(%) $\geq -4.9 \times (Fe + Mn + Cr + Zr + V) + 40.0$ の関係を満足し、かつ、0.2%耐力が275 MPa以上である、耐水素脆化特性に優れた高圧ガス容器用アルミニウム合金材が記載されている。

[0004] 特許文献2には、Zn 5.0～7.0%、Mg 1.0～3.0%、Cu 1.0～3.0%を含有し、かつCr 0.05～0.3%、Zr 0.05～0.25%、Mn 0.05～0.40%、Sc 0.05～0.35%のうちから選ばれた1種もしくは2種以上を合計量が0.05～0.5%の範囲内で含有し、さらに不純物としてSiを0.25%以下、Feを0.25%以下

に規制し、残部がAlおよびその他の不可避的不純物としたAl-Zn-Mg-Cu系アルミニウム合金を用い、その鋳塊に、450～520°Cの範囲内の温度で1時間以上保持する均質化処理を行なった後、鋳塊を冷却する過程において、少なくとも400°Cまでの平均冷却速度を100°C/h以上に規制し、その後300～440°Cの範囲内の温度で50mm以上の板厚まで熱間圧延を行なった後、溶体化処理・焼入れおよび人工時効処理を施し、円相当径で5μmを越える金属間化合物の総面積率を2%以下とした厚板を得る、強度および延性に優れたアルミニウム合金厚板の製造方法が記載されている。

[0005] 特許文献3には、Zn 4.5～8.5wt%、Mg 1.5～3.5wt%、Cu 0.8～2.6wt%を含有し、さらに、Mn、Cr、Zr、V、Tiを少なくとも1種類含有し、残部Alおよび不純物からなるアルミニウム合金を鍛造によりHセクションを有する鍛造材に成型するに際し、合金中のFe含有量を0.15wt%以下に規制するなどする、対応力腐食割れ性に優れた高強度Al-Zn-Mg系アルミニウム合金鍛造材の製造方法が記載されている。

[0006] 特許文献4には、Zn 5～8重量%、Mg 1.2～4.0重量%、Cu 1.5重量%を越え4.0重量%以下、Ag 0.03～1.0重量%、Fe 0.01～1.0重量%、Ti 0.005～0.2重量%、VO 0.01～0.2重量%を含有し、かつ、Mn 0.01～1.5重量%、Cr 0.01～0.6重量%、Zr 0.01～0.25重量%、B 0.0001～0.08重量%、Mo 0.03～0.5重量%のうちの少なくとも1種または2種以上を含み、残りアルミニウム及び不可避不純物からなる耐応力腐食割れ性に優れた溶接構造材用高力アルミニウム合金が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2009-221566号公報

特許文献2：特開2011-058047号公報

特許文献3：特公平1－025386号公報

特許文献4：特許第2915487号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、航空機や宇宙産業に求められるレベルで水素脆化を十分に効果的に防止ないし抑制できるアルミニウム合金材は知られていなかった。

本発明が解決しようとする課題は、水素脆化を効果的に防止ないし抑制できるアルミニウム合金材およびアルミニウム合金材の水素脆化防止剤を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明によれば、特定の合金組成を有するアルミニウム合金材、または特定の第二相粒子からなるアルミニウム合金材の水素脆化防止剤により、水素脆化を効果的に防止ないし抑制できることを見出し、上記課題を解決した。

このような合金は、新規な合金である。特許文献1～4には、JIS H 4100：2014「アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」の合金番号7050においてFe量が規定量よりも高いが、いずれも本発明のアルミニウム合金材の範囲外である。

例えば、特許文献1の表1の発明例6の組成はSi：0.21質量%、Fe：0.28質量%などであり、許文献2の第11頁表1の合金Aの組成はSi：0.21質量%、Fe：0.28質量%などであり、特許文献3の第4頁第1表の試料4の組成はSi：0.10質量%、Fe：0.19質量%などであり、特許文献4の第4頁第1表の比較合金10の組成は、Si：0.10質量%、Fe：0.20質量%などであるが、これらはいずれも本発明のアルミニウム合金材の範囲外である。

上記課題を解決するための具体的な手段である本発明の構成と、本発明の好ましい構成を以下に記載する。

[0010] [1] アルミニウム合金組成が、下記アルミニウム合金組成(1)～(7)のいずれかである、アルミニウム合金材。

アルミニウム合金組成（1）

S i : 0. 30質量%以下、F e : 0. 35質量%超、C u : 0. 20質量%以下、M n : 0. 20~0. 70質量%、M g : 1. 0~2. 0質量%、C r : 0. 30質量%以下、Z n : 4. 0~5. 0質量%、V : 0. 10質量%以下、Z r : 0. 25質量%以下、T i : 0. 20質量%以下であり、さらにA lを含む。

アルミニウム合金組成（2）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 15質量%超、C u : 1. 5~2. 0質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 2. 1~2. 6質量%、C r : 0. 05質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7質量%、N i : 0. 05質量%以下、Z r : 0. 10~0. 16質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA lを含む。

アルミニウム合金組成（3）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 25質量%超、C u : 2. 0~2. 6質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 1. 9~2. 6質量%、C r : 0. 04質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7質量%、Z r : 0. 08~0. 15質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA lを含む。

アルミニウム合金組成（4）

S i : 0. 40質量%以下、F e : 0. 50質量%超、C u : 1. 2~2. 0質量%、M n : 0. 30質量%以下、M g : 2. 1~2. 9質量%、C r : 0. 18~0. 26質量%、Z n : 5. 1~6. 1質量%、T i : 0. 20質量%以下であり、さらにA lを含む。

アルミニウム合金組成（5）

0. 7質量%<S i + F e、C u : 0. 10質量%以下、M n : 0. 10質量%以下、M g : 0. 10質量%以下、Z n : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにA lを含む。

アルミニウム合金組成（6）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 12質量%超、C u : 2. 0~2.

. 6質量%、Mn : 0. 06質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 05質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（7）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%超、Cu : 1. 6~2. 4質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 4~3. 1質量%、Cr : 0. 18~0. 28質量%、Zn : 6. 3~7. 3質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

[2] アルミニウム合金組成が、アルミニウム合金組成（3）である、[1]に記載のアルミニウム合金材。

[3] 半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子を含む、[1]または[2]に記載のアルミニウム合金材。

[4] 第二相粒子がAl₇Cu₂Fe粒子である、[3]に記載のアルミニウム合金材。

[5] アルミニウム合金材の水素脆化を防止でき、

Al₇Cu₂Fe粒子からなる、アルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

[6] 下記アルミニウム合金組成（A）であるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、[5]に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（A）

Si : 0. 40質量%以下、Cu : 2. 6質量%以下、Mn : 0. 70質量%以下、Mg : 3. 1質量%以下、Cr : 0. 30質量%以下、Zn : 7. 3質量%以下、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにFeおよびAlを含む。

[7] 下記アルミニウム合金組成（1）～（7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、[5]または[6]に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（1）

Si : 0. 30質量%以下、Fe : 0. 35質量%超、Cu : 0. 20質

量%以下、Mn : 0. 20~0. 70質量%、Mg : 1. 0~2. 0質量%、Cr : 0. 30質量%以下、Zn : 4. 0~5. 0質量%、V : 0. 10質量%以下、Zr : 0. 25質量%以下、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（2）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 15質量%超、Cu : 1. 5~2. 0質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 2. 1~2. 6質量%、Cr : 0. 05質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Ni : 0. 05質量%以下、Zr : 0. 10~0. 16質量%、Ti : 0. 06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（3）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 25質量%超、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（4）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%超、Cu : 1. 2~2. 0質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 1~2. 9質量%、Cr : 0. 18~0. 26質量%、Zn : 5. 1~6. 1質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（5）

0. 7質量%<Si+Fe、Cu : 0. 10質量%以下、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 0. 10質量%以下、Zn : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（6）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 12質量%超、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 06質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~

0. 15質量%、Ti : 0. 05質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A 7）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%超、Cu : 1. 6~2. 4質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 4~3. 1質量%、Cr : 0. 18~0. 28質量%、Zn : 6. 3~7. 3質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

[8] 下記アルミニウム合金組成（A 1）～（A 7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、[5] または[6] に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（A 1）

Si : 0. 30質量%以下、Fe : 0. 35質量%以下、Cu : 0. 20質量%以下、Mn : 0. 20~0. 70質量%、Mg : 1. 0~2. 0質量%、Cr : 0. 30質量%以下、Zn : 4. 0~5. 0質量%、V : 0. 10質量%以下、Zr : 0. 25質量%以下、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A 2）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 15質量%以下、Cu : 1. 5~2. 0質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 2. 1~2. 6質量%、Cr : 0. 05質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Ni : 0. 05質量%以下、Zr : 0. 10~0. 16質量%、Ti : 0. 06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A 3）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 15質量%以下、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A 4）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%以下、Cu : 1. 2~

2. 0質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 1~2. 9質量%、Cr : 0. 18~0. 26質量%、Zn : 5. 1~6. 1質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A5）

Si + Fe ≤ 0. 7質量%、Cu : 0. 10質量%以下、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 0. 10質量%以下、Zn : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A6）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 12質量%以下、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 06質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 05質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A7）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%以下、Cu : 1. 6~2. 4質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 4~3. 1質量%、Cr : 0. 18~0. 28質量%、Zn : 6. 3~7. 3質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、水素脆化を効果的に防止ないし抑制できるアルミニウム合金材およびアルミニウム合金材の水素脆化防止剤を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、実施例1のアルミニウム合金材（High Fe）のミクロ組織のトモグラフィー断層像の仮想断面である。

[図2]図2は、実施例1のアルミニウム合金材（High Fe）の破面のトモグラフィー断層像の仮想断面である。

[図3]図3は、参考例2のアルミニウム合金材（Low Fe）のトモグラフィー断層像の仮想断面である。

[図4]図4は、参考例2のアルミニウム合金材（Low Fe）の破面のトモグラフィー断層像の仮想断面である。

[図5]図5は、水素トラップによる η /Al界面の分離の模式図である。

[図6]図6は、アルミニウム合金材の中の各ミクロ組織の水素トラップエネルギーの数直線の図である。

[図7]図7は、Al₇Cu₂Fe粒子の結晶構造（空間群P4/mnc）の模式図である。

[図8]図8は、実施例1（High Fe）および参考例2（Low Fe）のアルミニウム合金材の中の各サイトにトラップされた水素量の棒グラフである。

[図9]図9は、IMC（Al₇Cu₂Fe）粒子への水素分配（H_{at} IMC）と、半整合析出物界面への水素分配（H_{at} η_2 ）と、水素脆化（擬へき開破壊）面積率QCFの関係などを示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 以下において、本発明について詳細に説明する。以下に記載する構成要件の説明は、代表的な実施形態や具体例に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施形態に限定されるものではない。なお、本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は「～」前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。

[0014] [アルミニウム合金材]

本発明のアルミニウム合金材は、アルミニウム合金組成が、下記アルミニウム合金組成（1）～（7）のいずれかである。

アルミニウム合金組成（1）

Si : 0.30質量%以下、Fe : 0.35質量%超、Cu : 0.20質量%以下、Mn : 0.20～0.70質量%、Mg : 1.0～2.0質量%、Cr : 0.30質量%以下、Zn : 4.0～5.0質量%、V : 0.10質量%以下、Zr : 0.25質量%以下、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（2）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 15質量%超、C u : 1. 5~2. 0質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 2. 1~2. 6質量%、C r : 0. 05質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7質量%、N i : 0. 05質量%以下、Z r : 0. 10~0. 16質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（3）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 25質量%超、C u : 2. 0~2. 6質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 1. 9~2. 6質量%、C r : 0. 04質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7質量%、Z r : 0. 08~0. 15質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（4）

S i : 0. 40質量%以下、F e : 0. 50質量%超、C u : 1. 2~2. 0質量%、M n : 0. 30質量%以下、M g : 2. 1~2. 9質量%、C r : 0. 18~0. 26質量%、Z n : 5. 1~6. 1質量%、T i : 0. 20質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（5）

0. 7質量%<S i + F e、C u : 0. 10質量%以下、M n : 0. 10質量%以下、M g : 0. 10質量%以下、Z n : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（6）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 12質量%超、C u : 2. 0~2. 6質量%、M n : 0. 06質量%以下、M g : 1. 9~2. 6質量%、C r : 0. 04質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7質量%、Z r : 0. 08~0. 15質量%、T i : 0. 05質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（7）

S i : 0. 40質量%以下、F e : 0. 50質量%超、C u : 1. 6~2. 4質量%、M n : 0. 30質量%以下、M g : 2. 4~3. 1質量%、C

r : 0.18~0.28質量%、Zn : 6.3~7.3質量%、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

この構成により、本発明のアルミニウム合金材は、水素脆化を効果的に防止ないし抑制できる。特に、航空機や宇宙産業に求められるレベルで水素脆化を十分に効果的に防止ないし抑制できる。

[0015] 従来、金属組織と水素脆化との関係について、さまざまな議論があった。水素脆化を防止する手法として、(i) 粒界上析出物の分布を低密および粗大とする、(ii) 粒界傾角(ねじれ角)を小さくする(非再結晶組織とする)、(iii) 結晶粒を微細化する、の3通りの組織制御法が提案されていた(例えば、伊藤吾郎、江藤武比古、宮木美光、菅野幹宏、「Al-Zn-Mg系合金」、軽金属、38(1988)、p818~839参照。なお、p822の表に、安定相としてAl₇Cu₂Fe正方晶の記載あり)。しかし、これらの手法の有効性は不明であり、具体的な機構も不明であった。有効性は不十分であるが、水素脆化の防止法として実際に行われているジルコニウムやクロムなどの合金元素の添加は、上記(ii)または(iii)に基づくものであった。

[0016] これに対し、本発明では、アルミニウム合金材の中の局所的な水素の分配挙動と集積挙動が、水素脆化割れを支配することに注目した。特に、水素脆化をもたらしている支配因子は、析出物にトラップされた水素であることに注目した(Engineering Fracture Mechanics 216(2019)106503参照)。そして、アルミニウムの各ミクロ組織と水素との間の結合エネルギーを求め、アルミニウム合金材の中の水素分配を計算することにより、水素脆化をもたらす水素トラップサイトの水素量を定量的に把握した。その上で、水素を強力にトラップできるサイトへ水素集中させることにより、アルミニウム合金の水素脆化を効果的に防止ないし抑制できる、特定の合金組成のアルミニウム合金材を見出した。また、その水素トラップサイトとして、半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子を用いることを見出した。

また、後述する本発明のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤は、上記の水素トラップサイトを有する、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子からなる。

なお、水素脆化割れには、粒界割れおよび擬へき開割れがあり、本発明では特に擬へき開割れを効果的に防止ないし抑制できる。

以下、本発明の好ましい態様を説明する。

[0017] <アルミニウム合金組成>

本発明のアルミニウム合金材は、アルミニウム合金組成が、前述のアルミニウム合金組成（1）～（7）である。

これらのアルミニウム合金組成の中でも、本発明では、アルミニウム合金組成が、前述のアルミニウム合金組成（3）であることが好ましい。

本発明のアルミニウム合金材は、アルミニウム合金材の全体に対する、 Fe 量が0.12質量%超であることが好ましく、0.15質量%超であることがより好ましく、0.25質量%超であることが特に好ましく、0.30質量%以上であることがより特に好ましい。 Fe 量の増加に伴い、第二相粒子（好ましくは $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子）の体積率、第二相粒子の数密度および第二相粒子の粒子径も増加させることができる。

一方、 Fe 量の上限値は特に制限はない。例えば、アルミニウム合金材の全体に対する、 Fe 量は、例えば、1.0質量%以下とすることができます、0.8質量%以下とすることができます、0.6質量%以下とすることができます。 Fe 量がこれらの上限値よりも少ない場合、第二相粒子の体積率、数密度および粒子径をある程度小さくして、第二相粒子が凝集して局在することによる材料特性の低下を抑制しやすい。

なお、本発明のアルミニウム合金材は、アルミニウムを主成分とするものであり、アルミニウムを0.50質量%以上含むことが好ましい。

アルミニウム合金組成のさらに好ましい範囲を順に説明する。

[0018] アルミニウム合金組成（1）は以下のとおりである。

Si ：0.30質量%以下、 Fe ：0.35質量%超、 Cu ：0.20質量%以下、 Mn ：0.20～0.70質量%、 Mg ：1.0～2.0質量%

、Cr : 0.30質量%以下、Zn : 4.0~5.0質量%、V : 0.10質量%以下、Zr : 0.25質量%以下、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成(1)では、Fe : 0.35質量%超1.0質量%以下であることが好ましく、0.35質量%超0.6質量%以下であることより好ましい。

[0019] アルミニウム合金組成(2)は以下のとおりである。

Si : 0.12質量%以下、Fe : 0.15質量%超、Cu : 1.5~2.0質量%、Mn : 0.10質量%以下、Mg : 2.1~2.6質量%、Cr : 0.05質量%以下、Zn : 5.7~6.7質量%、Ni : 0.05質量%以下、Zr : 0.10~0.16質量%、Ti : 0.06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成(2)では、Fe : 0.15質量%超1.0質量%以下であることが好ましく、0.15質量%超0.6質量%以下であることより好ましい。

[0020] アルミニウム合金組成(3)は以下のとおりである。

Si : 0.12質量%以下、Fe : 0.25質量%超、Cu : 2.0~2.6質量%、Mn : 0.10質量%以下、Mg : 1.9~2.6質量%、Cr : 0.04質量%以下、Zn : 5.7~6.7質量%、Zr : 0.08~0.15質量%、Ti : 0.06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成(3)では、Fe : 0.25質量%超1.0質量%以下であることが好ましく、0.25質量%超0.6質量%以下であることより好ましい。

[0021] アルミニウム合金組成(4)は以下のとおりである。

Si : 0.40質量%以下、Fe : 0.50質量%超、Cu : 1.2~2.0質量%、Mn : 0.30質量%以下、Mg : 2.1~2.9質量%、Cr : 0.18~0.26質量%、Zn : 5.1~6.1質量%、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（4）では、Fe : 0. 55質量%超1. 0質量%以下であることが好ましく、0. 55質量%超0. 6質量%以下であることがより好ましい。

[0022] アルミニウム合金組成（5）は以下のとおりである。

0. 7質量%<Si + Fe、Cu : 0. 10質量%以下、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 0. 10質量%以下、Zn : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（5）では、0. 7質量%<Si + Fe ≤ 1. 0質量%であることが好ましい。また、Fe : 0. 35質量%超1. 0質量%以下であることが好ましく、0. 35質量%超0. 6質量%以下であることがより好ましい。

[0023] アルミニウム合金組成（6）は以下のとおりである。

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 12質量%超、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 06質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 05質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（6）では、Fe : 0. 12質量%超1. 0質量%以下であることが好ましく、0. 12質量%超0. 6質量%以下であることがより好ましい。

[0024] アルミニウム合金組成（7）は以下のとおりである。

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%超、Cu : 1. 6~2. 4質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 4~3. 1質量%、Cr : 0. 18~0. 28質量%、Zn : 6. 3~7. 3質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（7）では、Fe : 0. 50質量%超1. 0質量%以下であることが好ましく、0. 50質量%超0. 6質量%以下であることがより好ましい。

[0025] <合金材の形状>

本発明のアルミニウム合金材の形状は、特に限定されない。アルミニウム合金材は、塊状であっても粒子状であってもよく、塊状であることが好ましい。

[0026] <第二相粒子>

本発明のアルミニウム合金材は、半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子を含むことが好ましい。

第二相粒子とは、母相の成分組成とは異なる組成の粒子のことを言う。アルミニウム合金材の第二相粒子は、Alまたはそのアルミニウム合金材とは異なる組成の粒子である。

半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子としては特に制限はない。第一原理計算により、半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子を求めることができる。第一原理計算とは、シュレディンガー方程式を（実験データや経験パラメータを用いずに）数学的に解くことによって、理論的に電子状態を表すことをいう。結晶粒界や析出物、格子間など、他の水素トラップサイトの密度や水素との結合エネルギーから、各トラップサイトにある水素の分布を計算することができる。なお、放射光トモグラフィーでアルミニウム合金材の変形過程の観察を行い、3Dまたは4D画像処理をすることにより、アルミニウム合金材の中に多数分散する第二相粒子を追跡して内部の塑性歪み分布を3Dマッピングできる。3D歪み分布から幾何学的に必要な転位および統計的に必要な転位、原子空孔の濃度分布を計算できる。

本発明では、半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子がAl₇Cu₂Fe粒子であることが好ましい。なお、Al : Cu : Feの原子比が7 : 2 : 1の化学量論組成から30%程度ずれた粒子（例えばAl₇Cu₂Fe_{0.7}粒子）でも同様な効果が期待できる。なお、アルミニウム合金材の中の各ミクロ組織の水素トラップエネルギーのうち、Al₇Cu₂Fe粒子は0.56eVである。ただし、半整合析出物界面の0.55eVよりも高い水素トラップエネルギーを有する、Al₇Cu₂Fe粒子以外の

好ましい第二相粒子またはミクロ組織はまだ知られていない。

- [0027] 第二相粒子の形状は、球状、楕円体状、角筒状、円筒状、立方体、直方体、鱗片状などの種々の形状が挙げられ、好ましくは球状または楕円体状である。
- [0028] 第二相粒子の体積率は0.05～10.0%であることが好ましく、0.1～5.0%であることがより好ましく、0.5～2.0%であることが特に好ましい。第二相粒子の体積率は、例えばX線トモグラフィー（CT）による3D解析により、アルミニウム合金材の体積に対する第二相粒子の体積として算出することができる。
- [0029] 第二相粒子の数密度は $6.5 \times 10^{12}/m^3$ ～ $100 \times 10^{12}/m^3$ であることが好ましく、 $10 \times 10^{12}/m^3$ ～ $50 \times 10^{12}/m^3$ であることがより好ましく、 $20 \times 10^{12}/m^3$ ～ $40 \times 10^{12}/m^3$ であることが特に好ましい。第二相粒子の数密度は、例えば空間分解能が $1\mu m$ までの高分解能X線トモグラフィー（CT）による3D解析により算出することができる。
- [0030] 第二相粒子の平均粒子径は $0.5\sim20\mu m$ であることが好ましい。第二相粒子の平均粒子径の上限値は $10\mu m$ 以下であることがより好ましく、 $5.0\mu m$ 以下であることが特に好ましい。第二相粒子の平均粒子径は、例えばX線トモグラフィー（CT）による3D解析により算術平均として算出することができる。

[0031] <アルミニウム合金材の製造方法>

アルミニウム合金材の製造方法は特に制限はない。

原料のアルミニウム合金材に対して、 Al_7Cu_2Fe 粒子からなるアルミニウム合金材の水素脆化防止剤を材料内部で形成させることで、アルミニウム合金材の水素脆化を防止できる。

原料のアルミニウム合金材に対して、 Al_7Cu_2Fe 粒子を添加してもよく、製造時に Fe を添加して Al_7Cu_2Fe 粒子を形成させて最終的に Al_7Cu_2Fe 粒子を水素脆化防止剤として用いてよい。

原料のアルミニウム合金材は、 Al をはじめとする各金属または金属化合

物が合金化される前の原料混合物であってもよい。

[0032] 原料のアルミニウム合金材（原料混合物であってもよい）を、熱処理、圧延、鍛造および／または鋳造するなど公知の工程により、アルミニウム合金材を製造することができる。本発明では、原料のアルミニウム合金材を、鋳造して、アルミニウム合金材を製造することが、析出物への水素トラップの抑制、すなわち擬へき開破壊の抑制の観点から好ましい。特に、各金属または金属化合物が合金化される前の原料混合物に対して、鋳造時に $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子を積極的に形成させることが好ましい。また、熱処理、圧延、鍛造を行わなくてもよい。

その他の製造方法については、特開2009-221556号公報の[0034]～[0042]に記載の方法を流用することができ、この公報の内容は参照して本明細書に組み込まれる。

[0033] [アルミニウム合金材の水素脆化防止剤]

本発明のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤は、アルミニウム合金材の水素脆化を防止でき、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子からなる。

$\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子は、既存のアルミニウム合金材にも含まれていることがあるが、アルミニウム合金材の水素脆化防止剤であることは知られていなかった。

[0034] <原料のアルミニウム合金材>

水素脆化を防止する対象となる原料のアルミニウム合金材は、本発明のアルミニウム合金材であっても、既存のアルミニウム合金材であってもよい。

[0035] 本発明のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤は、下記アルミニウム合金組成（A）であるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できることが好ましい。

アルミニウム合金組成（A）

Si : 0.40質量%以下、Cu : 2.6質量%以下、Mn : 0.70質量%以下、Mg : 3.1質量%以下、Cr : 0.30質量%以下、Zn : 7

. 3質量%以下、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにFeおよびAlを含む。

[0036] 水素脆化を防止する対象となる原料のアルミニウム合金材が本発明のアルミニウム合金材である場合、本発明のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤は、前述のアルミニウム合金組成（1）～（7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できることが好ましい。

[0037] 水素脆化を防止する対象となる原料のアルミニウム合金材が既存のアルミニウム合金材である場合、本発明のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤は、下記アルミニウム合金組成（A1）～（A7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できることが好ましい。ただし、水素脆化を防止する対象となる原料のアルミニウム合金材が既存のアルミニウム合金材である場合、従来よりも第二相粒子の粒子径を小さくし、かつ分散させて、水素脆化を防止しやすくすることが好ましい。

アルミニウム合金組成（A1）

Si : 0. 30質量%以下、Fe : 0. 35質量%以下、Cu : 0. 20質量%以下、Mn : 0. 20～0. 70質量%、Mg : 1. 0～2. 0質量%、Cr : 0. 30質量%以下、Zn : 4. 0～5. 0質量%、V : 0. 10質量%以下、Zr : 0. 25質量%以下、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A2）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 15質量%以下、Cu : 1. 5～2. 0質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 2. 1～2. 6質量%、Cr : 0. 05質量%以下、Zn : 5. 7～6. 7質量%、Ni : 0. 05質量%以下、Zr : 0. 10～0. 16質量%、Ti : 0. 06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A3）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 15質量%以下、Cu : 2. 0～2. 6質量%、Mn : 0. 10質量%以下、Mg : 1. 9～2. 6質量%、

C r : 0. 04 質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7 質量%、Z r : 0. 08~0. 15 質量%、T i : 0. 06 質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（A 4）

S i : 0. 40 質量%以下、F e : 0. 50 質量%以下、C u : 1. 2~2. 0 質量%、M n : 0. 30 質量%以下、M g : 2. 1~2. 9 質量%、C r : 0. 18~0. 26 質量%、Z n : 5. 1~6. 1 質量%、T i : 0. 20 質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（A 5）

S i + F e \leq 0. 7 質量%、C u : 0. 10 質量%以下、M n : 0. 10 質量%以下、M g : 0. 10 質量%以下、Z n : 0. 8~1. 3 質量%であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（A 6）

S i : 0. 12 質量%以下、F e : 0. 12 質量%以下、C u : 2. 0~2. 6 質量%、M n : 0. 06 質量%以下、M g : 1. 9~2. 6 質量%、C r : 0. 04 質量%以下、Z n : 5. 7~6. 7 質量%、Z r : 0. 08~0. 15 質量%、T i : 0. 05 質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（A 7）

S i : 0. 40 質量%以下、F e : 0. 50 質量%以下、C u : 1. 6~2. 4 質量%、M n : 0. 30 質量%以下、M g : 2. 4~3. 1 質量%、C r : 0. 18~0. 28 質量%、Z n : 6. 3~7. 3 質量%、T i : 0. 20 質量%以下であり、さらにA Iを含む。

[0038] アルミニウム合金組成（A 1）～（A 7）を下記表1にまとめた。なお、表1中の合金番号は、J I S H 4 1 0 0 : 2 0 1 4 「アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」の合金番号を意味する。

[0039]

[表1]

合金組成	合金番号	合せ板	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ga, V, Ni, B, Zrなど	Ti	その他		A1
												個々	合計	
(A1)	7204 (7N01)		0.30以下	0.35以下	0.20以下	0.20~0.7	1.0~2.0	0.30以下	4.0~5.0	V 0.10以下、 Zr 0.25以下	0.20以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A2)	7010		0.12以下	0.15以下	1.5~2.0	0.10以下	2.1~2.6	0.05以下	5.7~6.7	Ni 0.05以下、 Zr 0.10~0.16	0.06以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A3)	7050		0.12以下	0.15以下	2.0~2.6	0.10以下	1.9~2.6	0.04以下	5.7~6.7	Zr 0.08~0.15	0.06以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A4)	7075 (7075)	心材	0.40以下	0.50以下	1.2~2.0	0.30以下	2.1~2.9	0.18~0.28	5.1~6.1	—	0.20以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A5)	7075 (7072)	皮材	0.40以下	0.50以下	1.2~2.0	0.30以下	2.1~2.9	0.18~0.28	5.1~6.1	—	0.20以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A6)	7475		0.10以下	0.12以下	1.2~1.9	0.06以下	1.9~2.6	0.18~0.25	5.2~6.2	—	0.06以下	0.05以下	0.15以下	残部
(A7)	7178		0.40以下	0.50以下	1.6~2.4	0.30以下	2.4~3.1	0.18~0.28	6.3~7.3	—	0.20以下	0.05以下	0.15以下	残部

実施例

[0040] 以下に実施例と比較例を挙げて本発明をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、使用量、割合、処理内容、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更することができる。従って、本発明の範囲は以下に示す具体例により限定的に解釈されるべきものではない。

[0041] [実施例 1]

アルミニウム合金組成（3）を満たすアルミニウム合金材として、Fe が 0.30 質量% の実施例 1 のアルミニウム合金材（High Fe）を以下の方法で準備した。このアルミニウム合金材は、Al を主成分として 50 質量% 以上含み、その次に Zn、さらにその次に Cu を多く含む、Al-Zn-Cu 合金である。

JIS H 4100:2014 「アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」の合金番号 7050 の組成、すなわちアルミニウム合金組成（A 3）を満たすアルミニウム合金材を鋳造するための材料に対し、さらに溶塔に Fe を添加して、Al₇Cu₂Fe 粒子を第二相粒子として材料内部で形成させた。

[0042] [参考例 1 および 2]

JIS H 4100:2014 「アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」の合金番号 7050 の組成、すなわちアルミニウム合金組成（A 3）を満たすアルミニウム合金材として、Fe が 0.05 質量% の参考例 1 のアルミニウム合金材（Mid Fe）および Fe が 0.01 質量% の参考例 2 のアルミニウム合金材（Low Fe）を準備した。

[0043] [評価]

<3D 解析>

実施例 1、参考例 1 および 2 のアルミニウム合金材を X 線トモグラフィーにより 3D 解析した。得られた結果を下記表 2 に示した。下記表 2 中、粒子とは、Al₇Cu₂Fe 粒子を意味する。

[0044]

[表2]

Material	Fe量 (mass%)	粒子の体積率 (%)	粒子の数密度 (10 ¹² /m ³)	粒子径 (μm)
High Fe	0.30	1.0	35.2	4.6
Mid Fe	0.05	0.1	6.7	1.7
Low Fe	0.01	0.05	6.3	1.7

[0045] 上記表2より、Fe量の増加に伴い、Al₇Cu₂Fe粒子の体積率も増加することがわかった。

[0046] <トモグラフィー断層像>

次に、実施例1、参考例1および2のアルミニウム合金材のトモグラフィー断層像を撮影した。

実施例1のアルミニウム合金材(High Fe)のミクロ組織のトモグラフィー断層像の仮想断面を図1に示した。また、実施例1のアルミニウム合金材(High Fe)の破面のトモグラフィー断層像の仮想断面を図2に示した。図2および図4中、QCFFは、擬へき開破壊面積率(Area fraction of Quasi-cleavage creak)を意味する。

参考例2のアルミニウム合金材(Low Fe)のトモグラフィー断層像の仮想断面を図3に示した。また、参考例2のアルミニウム合金材(Low Fe)の破面のトモグラフィー断層像の仮想断面を図4に示した。

なお、参考例1については図示を省略する。

[0047] 図1より、実施例1のアルミニウム合金材(High Fe)では、Al₇Cu₂Fe粒子という第二相粒子が材料内部で形成されていることがわかった。また、Al₇Cu₂Fe粒子は、ミクロンオーダーで、高密度に、かつ分散して、存在していることがわかった。

一方、図3に示した参考例2のアルミニウム合金材(Low Fe)では第二相粒子が材料内部でほとんど形成されていないことがわかった。

[0048] さらに図2および図4、ならびに不図示の参考例1の結果より、実施例1(High Fe)、参考例1(Mid Fe)および参考例2(Low

Fe) における破面における擬へき開破壊 (Quasi-cleavage crack) の面積率 QCF を求めた。得られた結果を下記表 3 に示した。

[0049] [表3]

擬へき開破壊の面積率 QCF (%)	
High Fe (0.30 質量%)	8.1
Mid Fe (0.05 質量%)	18.8
Low Fe (0.01 質量%)	22.4

[0050] 上記表 3 より、水素脆化を低減できる。Fe 量が 0.01 質量% から 0.3 質量% に増加することにより、擬へき開破壊の面積率 QCF は、22.4 % から 8.1 % に減少することがわかった。擬へき開破壊の面積率 QCF は、水素脆化破面率に相当することから、既存のアルミニウム合金材よりも Fe 量を増加させて、Al₇Cu₂Fe 粒子を第二相粒子として材料内部で形成させて、ミクロンオーダーで、高密度、かつ分散させると、水素脆化を低減できることがわかった。また、Al₇Cu₂Fe 粒子はアルミニウム合金材の擬へき開破壊を効果的に防止ないし抑制でき、アルミニウム合金材の水素脆化防止剤として極めて有効であることがわかった。

[0051] <水素の分配状態の解析>

実施例 1、参考例 1 および参考例 2 のアルミニウム合金材について、ミクロ組織の水素量 H_{at} IMC と、半整合析出物 (η_2 、semi-coherent) の水素量 (H_{at} η_2) の水素量を、計算プロセスにより求めた。

[0052] (1) 半整合析出物界面の水素による半自発的剥離

第一原理計算により、水素トラップによる η_2 / Al 界面の分離を計算した。得られた結果を図 5 に示した。

図 5 より、半整合析出物界面 (η_2 、semi-coherent) に水素が濃化すると、界面が半自発的に剥離し、これが水素脆化の起点になることがわかった。なお、この結果は、アルミニウム合金材の中の水素脆化の新規

メカニズムである。

[0053] (2) ミクロ組織の水素トラップエネルギー

第一原理計算により、アルミニウム合金材中の各ミクロ組織の水素トラップエネルギーを計算した。得られた結果を図6に示した。図6中、紙面左から順に、らせん転位 (Screw disl.) 、溶質Mg原子 (Solute Mg) 、刃状転位 (Edge disl.) 、粒界 (GB) 、空孔 (Vac.) 、整合析出物界面 (η_1 、coherent) 、半整合析出物界面 (η_2 、semi-coherent) 、Al₇Cu₂Fe粒子 (IMCp) 、ポア表面 (Pore (surface H)) 、ポア内分子状水素 (Pore (H₂)) を表す。

図6より、水素脆性の制御において熱処理や圧延による組織制御が、析出物への水素トラップの抑制、すなわち擬へき開破壊の抑制に効果的ではないことがわかった。析出物と水素の結合エネルギーは、ポアに次いで高く、水素のトラップサイト密度も高いことがわかった。水素分配制御に基づく擬へき開破壊の抑制のためには、水素との結合エネルギーが析出物よりも高く、トラップサイト密度も十分に高いサイトを材料中に設ける必要があることがわかった。図6より、各ミクロ組織の水素トラップエネルギーのうち、Al₇Cu₂Fe粒子は0.56 eVであり、整合析出物界面 (η_1 、coherent) の0.35 eVおよび半整合析出物界面 (η_2 、semi-coherent) の0.55 eVよりも高いことがわかった。すなわち、Al₇Cu₂Fe粒子は、水素脆化の防止に効果的である、半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する。Al₇Cu₂Fe粒子の結晶構造（空間群P4/mnc）を図7に示す (Brown et al., Acta Cryst., 9 (1956), 911参照)。図7より、Al₇Cu₂Fe粒子内部には、Hを強くトラップできる水素トラップサイトがあることが確認できる。

[0054] (3) 水素の分配状態の計算

アルミニウム合金材中の水素の分配状態を解析した。

下記の関係の式1～式3に基づき、第一原理計算で求めた水素トラップエネルギーを用いて、熱平衡状態下的水素の分配状態を計算した。具体的な計算は、Engineering Fracture Mechanics 216 (2019) 106503に準じた方法で行った。

[0055] [数1]

式1：熱平衡

$$\frac{\theta_{Ti}}{1 - \theta_{Ti}} = \theta_L \exp\left(\frac{E_{bi}}{RT}\right)$$

占有率
(トラップサイト) 結合E
占有率(格子間)

[0056] [数2]

式2：トラップサイトへの水素分配

$$C_H^T = \theta_L N_L + \sum \theta_{Ti} N_{Ti} + 2N_A \frac{4\gamma V}{dRT}$$

トラップサイト密度
(トラップサイト) 表面E
トラップサイト密度
(格子間) ポア表面のH

[0057] [数3]

式3：吸着水素によるポアの表面E（表面エネルギー）の低下

$$\gamma = \gamma_0 - (E_S + RT \ln(\theta_L)) \frac{N_S \theta_S}{N_A A} + \frac{N_S}{N_A A} RT \{ \theta_S \ln(\theta_S) + (1 - \theta_S) \ln(1 - \theta_S) \}$$

表面E 結合Eと格子間水素
の化学ボテンシャル 吸着水素の配置エントロピー

[0058] 得られた結果を図8に示した。図8中、紙面左から順に、格子間(Lattice)、溶質Mg原子(Mg)、空孔(V)、粒界(+)、Al₇Cu₂Fe粒子(IMCp)、整合析出物界面(coherent)、半整合析出物界面(semi-coherent)、ポア(Pore)のミクロ組織にそれぞれトラップされた水素量を表す。各ミクロ組織における2本の棒グラ

フは、紙面左側が実施例1に相当するFe量が0.30質量% (High Fe) の場合、紙面右側が参考例2に相当するFe量が0.01質量% (Low Fe) の場合を表す。なお、参考例1に相当するFe量が0.05質量% (Mid Fe) の場合の結果は図8では省略した。

図8に示したとおり、アルミニウム合金材の中の水素は、トラップエネルギーに応じて、各ミクロ組織に分配されることがわかる。

Fe量が0.01質量% (Low Fe) と低い参考例1と同程度のアルミニウム合金材では、半整合析出物 (η_2 、semi-coherent) 界面に、最も強く水素が分配される。これが、水素脆化の起点となる（前述の図5参照）。

一方、Fe量が0.30質量% (High Fe) と高い実施例1と同程度のアルミニウム合金では、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子 (IMCp) に最も強く水素が分配される。これにより、半整合析出物 (η_2 、semi-coherent) 界面などの析出物界面の水素濃度が低減され、水素脆化を防止できたことがわかった。

[0059] 以上の評価結果を図9にまとめた。図9は、IMC ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$) 粒子への水素分配 (Hat IMC) と、半整合析出物界面への水素分配 (Hat η_2) と、水素脆化 (擬へき開破壊) 面積率 QCF の関係などを示したグラフである。横軸は、実施例1、参考例1および参考例2のアルミニウム合金材におけるFe量を表す。

ここで、前述の表1より、アルミニウム合金材中のFe量増加に伴い、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子の体積率も増加することがわかった。

表1の結果および図9より、アルミニウム合金材中のFe量増加に伴い、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子が水素をトラップする量が増えて（破線；Hat IMC）、析出物の水素量が減少し (Hat η_2)、水素脆化 (擬へき開破壊) を効果的に防止ないし抑制できることがわかった (QCF)。

また、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 粒子は、JIS H 4100:2014で規定される従来公知の組成のアルミニウム合金材を鋳造するための材料を用いた場

合にも、第二相粒子として材料内部に形成させたことにより、アルミニウム合金材の水素脆化防止剤としての機能を効果的に奏することがわかった。

請求の範囲

[請求項1] アルミニウム合金組成が、下記アルミニウム合金組成（1）～（7）のいずれかである、アルミニウム合金材。

アルミニウム合金組成（1）

S i : 0. 30質量%以下、F e : 0. 35質量%超、C u : 0. 20質量%以下、M n : 0. 20～0. 70質量%、M g : 1. 0～2. 0質量%、C r : 0. 30質量%以下、Z n : 4. 0～5. 0質量%、V : 0. 10質量%以下、Z r : 0. 25質量%以下、T i : 0. 20質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（2）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 15質量%超、C u : 1. 5～2. 0質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 2. 1～2. 6質量%、C r : 0. 05質量%以下、Z n : 5. 7～6. 7質量%、N i : 0. 05質量%以下、Z r : 0. 10～0. 16質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（3）

S i : 0. 12質量%以下、F e : 0. 25質量%超、C u : 2. 0～2. 6質量%、M n : 0. 10質量%以下、M g : 1. 9～2. 6質量%、C r : 0. 04質量%以下、Z n : 5. 7～6. 7質量%、Z r : 0. 08～0. 15質量%、T i : 0. 06質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（4）

S i : 0. 40質量%以下、F e : 0. 50質量%超、C u : 1. 2～2. 0質量%、M n : 0. 30質量%以下、M g : 2. 1～2. 9質量%、C r : 0. 18～0. 26質量%、Z n : 5. 1～6. 1質量%、T i : 0. 20質量%以下であり、さらにA Iを含む。

アルミニウム合金組成（5）

0. 7質量%< S i + F e、C u : 0. 10質量%以下、M n : 0

. 10質量%以下、Mg : 0. 10質量%以下、Zn : 0. 8~1. 3質量%であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（6）

Si : 0. 12質量%以下、Fe : 0. 12質量%超、Cu : 2. 0~2. 6質量%、Mn : 0. 06質量%以下、Mg : 1. 9~2. 6質量%、Cr : 0. 04質量%以下、Zn : 5. 7~6. 7質量%、Zr : 0. 08~0. 15質量%、Ti : 0. 05質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（7）

Si : 0. 40質量%以下、Fe : 0. 50質量%超、Cu : 1. 6~2. 4質量%、Mn : 0. 30質量%以下、Mg : 2. 4~3. 1質量%、Cr : 0. 18~0. 28質量%、Zn : 6. 3~7. 3質量%、Ti : 0. 20質量%以下であり、さらにAlを含む。

[請求項2] 前記アルミニウム合金組成が、前記アルミニウム合金組成（3）である、請求項1に記載のアルミニウム合金材。

[請求項3] 半整合析出物界面よりも高い水素トラップエネルギーを有する第二相粒子を含む、請求項1または2に記載のアルミニウム合金材。

[請求項4] 前記第二相粒子がAl₇Cu₂Fe粒子である、請求項3に記載のアルミニウム合金材。

[請求項5] アルミニウム合金材の水素脆化を防止でき、Al₇Cu₂Fe粒子からなる、アルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

[請求項6] 下記アルミニウム合金組成（A）であるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、請求項5に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（A）

Si : 0. 40質量%以下、Cu : 2. 6質量%以下、Mn : 0. 70質量%以下、Mg : 3. 1質量%以下、Cr : 0. 30質量%以

下、 $Zn : 7.3$ 質量%以下、 $Ti : 0.20$ 質量%以下であり、さらに Fe および Al を含む。

[請求項7] 下記アルミニウム合金組成（1）～（7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、請求項5または6に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（1）

$Si : 0.30$ 質量%以下、 $Fe : 0.35$ 質量%超、 $Cu : 0.20$ 質量%以下、 $Mn : 0.20 \sim 0.70$ 質量%、 $Mg : 1.0 \sim 2.0$ 質量%、 $Cr : 0.30$ 質量%以下、 $Zn : 4.0 \sim 5.0$ 質量%、 $V : 0.10$ 質量%以下、 $Zr : 0.25$ 質量%以下、 $Ti : 0.20$ 質量%以下であり、さらに Al を含む。

アルミニウム合金組成（2）

$Si : 0.12$ 質量%以下、 $Fe : 0.15$ 質量%超、 $Cu : 1.5 \sim 2.0$ 質量%、 $Mn : 0.10$ 質量%以下、 $Mg : 2.1 \sim 2.6$ 質量%、 $Cr : 0.05$ 質量%以下、 $Zn : 5.7 \sim 6.7$ 質量%、 $Ni : 0.05$ 質量%以下、 $Zr : 0.10 \sim 0.16$ 質量%、 $Ti : 0.06$ 質量%以下であり、さらに Al を含む。

アルミニウム合金組成（3）

$Si : 0.12$ 質量%以下、 $Fe : 0.25$ 質量%超、 $Cu : 2.0 \sim 2.6$ 質量%、 $Mn : 0.10$ 質量%以下、 $Mg : 1.9 \sim 2.6$ 質量%、 $Cr : 0.04$ 質量%以下、 $Zn : 5.7 \sim 6.7$ 質量%、 $Zr : 0.08 \sim 0.15$ 質量%、 $Ti : 0.06$ 質量%以下であり、さらに Al を含む。

アルミニウム合金組成（4）

$Si : 0.40$ 質量%以下、 $Fe : 0.50$ 質量%超、 $Cu : 1.2 \sim 2.0$ 質量%、 $Mn : 0.30$ 質量%以下、 $Mg : 2.1 \sim 2.9$ 質量%、 $Cr : 0.18 \sim 0.26$ 質量%、 $Zn : 5.1 \sim 6.1$ 質量%、 $Ti : 0.20$ 質量%以下であり、さらに Al を含む。

アルミニウム合金組成（5）

S i : 0. 7 質量% < S i + F e、C u : 0. 10 質量% 以下、M n : 0. 10 質量% 以下、M g : 0. 10 質量% 以下、Z n : 0. 8 ~ 1. 3 質量% であり、さらにA l を含む。

アルミニウム合金組成（6）

S i : 0. 12 質量% 以下、F e : 0. 12 質量% 超、C u : 2. 0 ~ 2. 6 質量%、M n : 0. 06 質量% 以下、M g : 1. 9 ~ 2. 6 質量%、C r : 0. 04 質量% 以下、Z n : 5. 7 ~ 6. 7 質量%、Z r : 0. 08 ~ 0. 15 質量%、T i : 0. 05 質量% 以下であり、さらにA l を含む。

アルミニウム合金組成（7）

S i : 0. 40 質量% 以下、F e : 0. 50 質量% 超、C u : 1. 6 ~ 2. 4 質量%、M n : 0. 30 質量% 以下、M g : 2. 4 ~ 3. 1 質量%、C r : 0. 18 ~ 0. 28 質量%、Z n : 6. 3 ~ 7. 3 質量%、T i : 0. 20 質量% 以下であり、さらにA l を含む。

[請求項8] 下記アルミニウム合金組成（A 1）～（A 7）のいずれかであるアルミニウム合金材の水素脆化を防止できる、請求項5または6に記載のアルミニウム合金材の水素脆化防止剤。

アルミニウム合金組成（A 1）

S i : 0. 30 質量% 以下、F e : 0. 35 質量% 以下、C u : 0. 20 質量% 以下、M n : 0. 20 ~ 0. 70 質量%、M g : 1. 0 ~ 2. 0 質量%、C r : 0. 30 質量% 以下、Z n : 4. 0 ~ 5. 0 質量%、V : 0. 10 質量% 以下、Z r : 0. 25 質量% 以下、T i : 0. 20 質量% 以下であり、さらにA l を含む。

アルミニウム合金組成（A 2）

S i : 0. 12 質量% 以下、F e : 0. 15 質量% 以下、C u : 1. 5 ~ 2. 0 質量%、M n : 0. 10 質量% 以下、M g : 2. 1 ~ 2. 6 質量%、C r : 0. 05 質量% 以下、Z n : 5. 7 ~ 6. 7 質量%

%、Ni : 0.05質量%以下、Zr : 0.10~0.16質量%、
Ti : 0.06質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A3）

Si : 0.12質量%以下、Fe : 0.15質量%以下、Cu : 2
.0~2.6質量%、Mn : 0.10質量%以下、Mg : 1.9~2
.6質量%、Cr : 0.04質量%以下、Zn : 5.7~6.7質量
%、Zr : 0.08~0.15質量%、Ti : 0.06質量%以下で
あり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A4）

Si : 0.40質量%以下、Fe : 0.50質量%以下、Cu : 1
.2~2.0質量%、Mn : 0.30質量%以下、Mg : 2.1~2
.9質量%、Cr : 0.18~0.26質量%、Zn : 5.1~6.
1質量%、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

アルミニウム合金組成（A5）

Si + Fe ≤ 0.7質量%、Cu : 0.10質量%以下、Mn : 0
.10質量%以下、Mg : 0.10質量%以下、Zn : 0.8~1.
3質量%であり、さらにAlを含む。

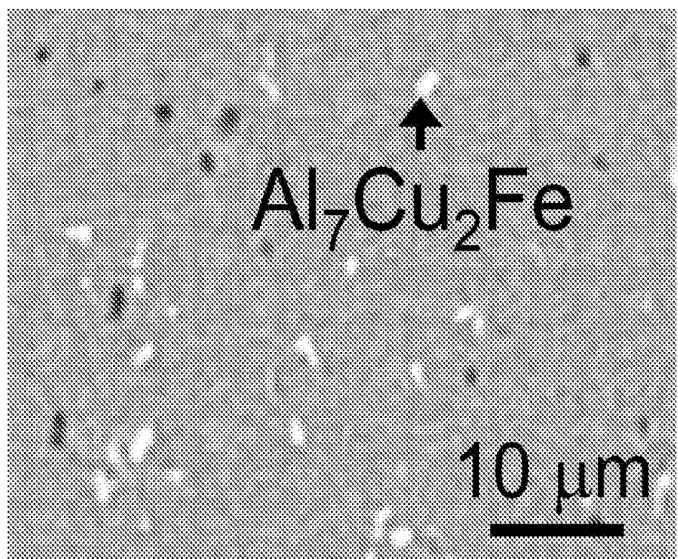
アルミニウム合金組成（A6）

Si : 0.12質量%以下、Fe : 0.12質量%以下、Cu : 2
.0~2.6質量%、Mn : 0.06質量%以下、Mg : 1.9~2
.6質量%、Cr : 0.04質量%以下、Zn : 5.7~6.7質量
%、Zr : 0.08~0.15質量%、Ti : 0.05質量%以下で
あり、さらにAlを含む。

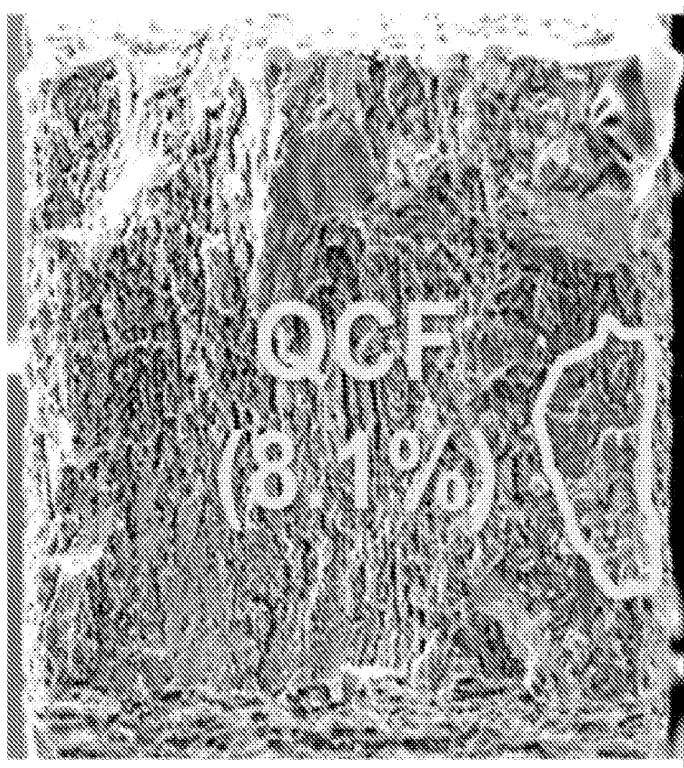
アルミニウム合金組成（A7）

Si : 0.40質量%以下、Fe : 0.50質量%以下、Cu : 1
.6~2.4質量%、Mn : 0.30質量%以下、Mg : 2.4~3
.1質量%、Cr : 0.18~0.28質量%、Zn : 6.3~7.
3質量%、Ti : 0.20質量%以下であり、さらにAlを含む。

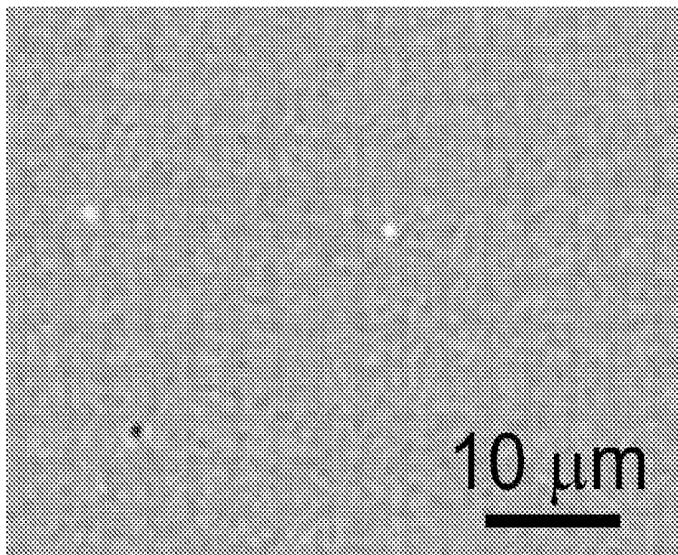
[図1]



[図2]



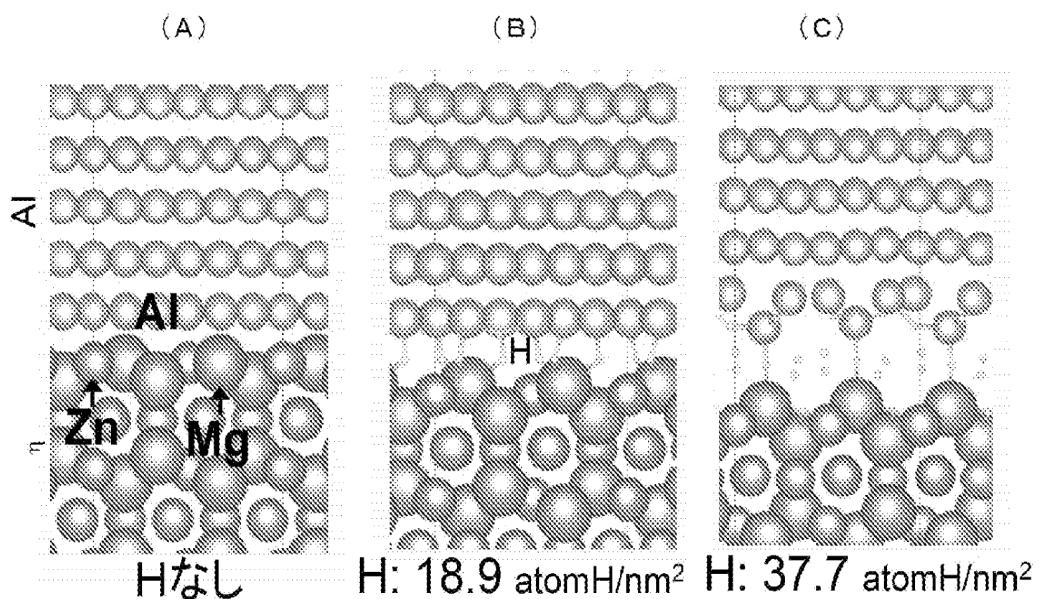
[図3]



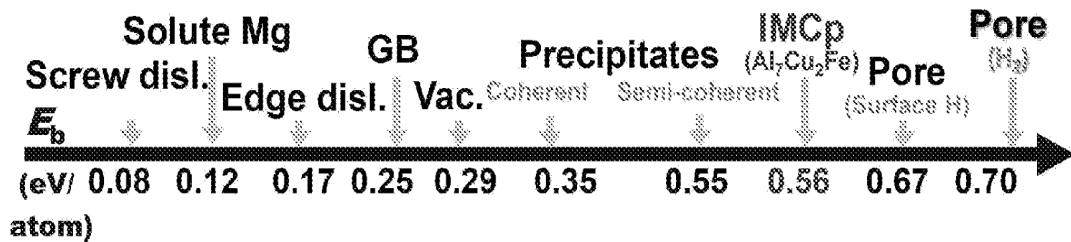
[図4]



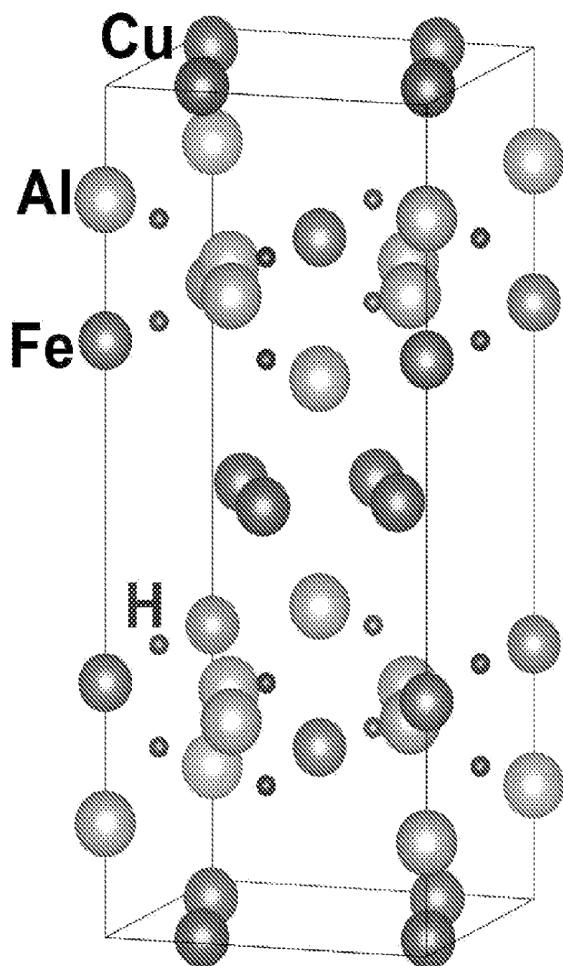
[図5]



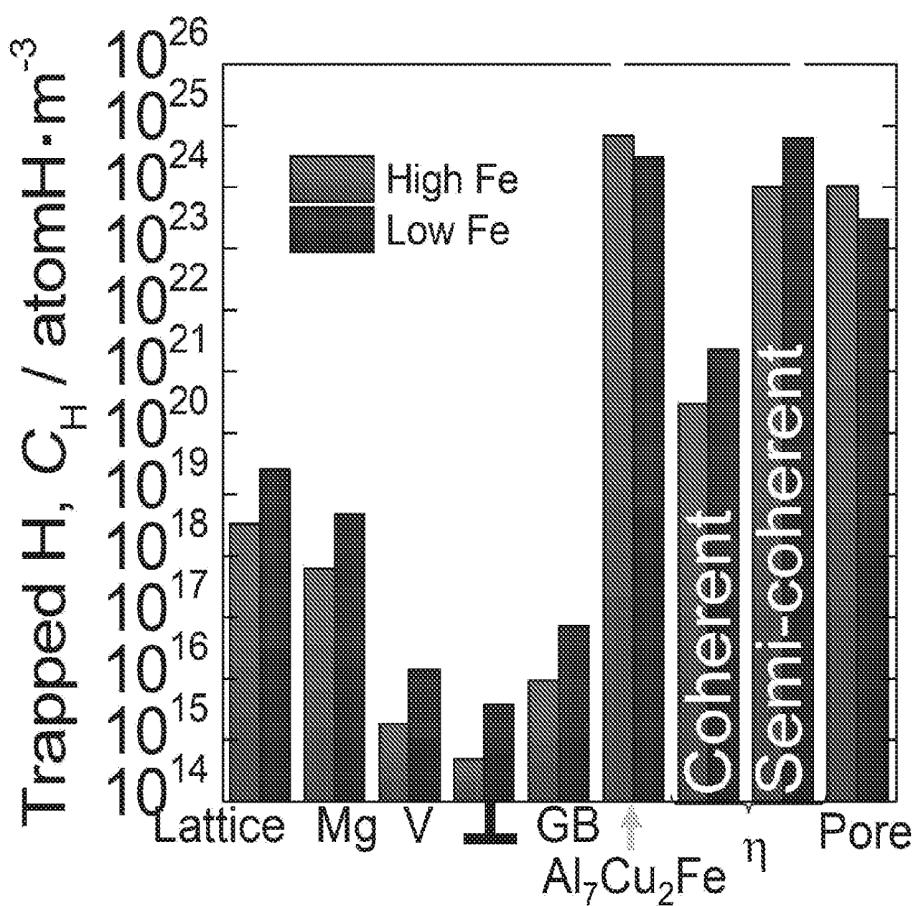
[図6]



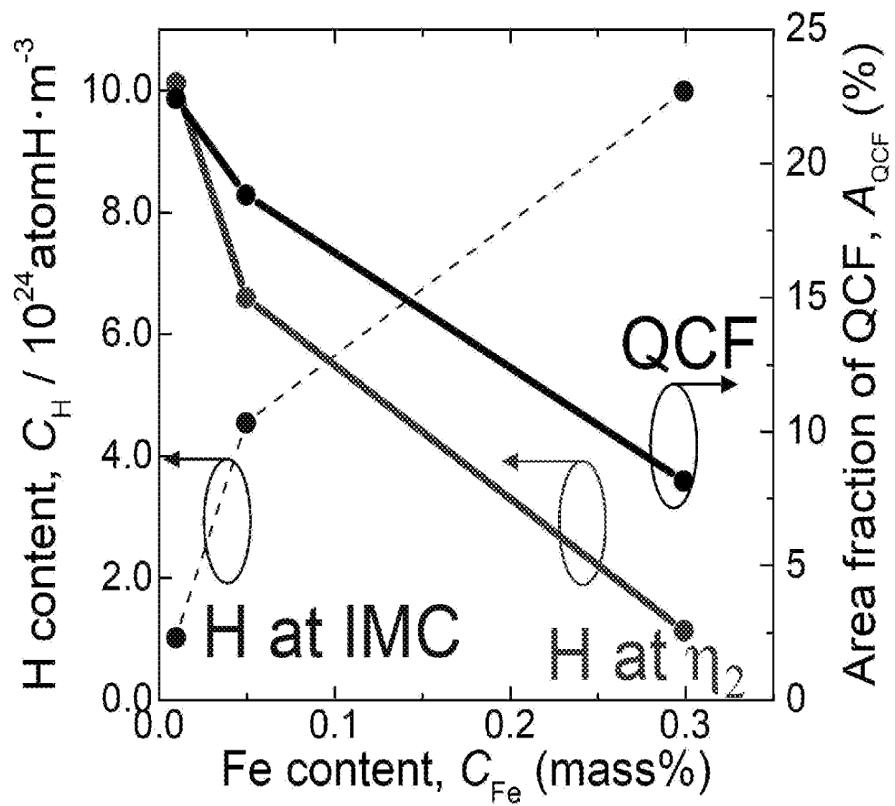
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/020104

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. C22C21/10 (2006.01) i

FI: C22C21/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. C22C21/10

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2018-513270 A (NOVELIS INC.) 24 May 2018 (2018-05-24), claims, paragraph [0052], tables 1-21	1, 3-4
Y		1, 3-4
X	JP 2015-137377 A (UACJ EXTRUSION CORP.) 30 July 2015 (2015-07-30), paragraphs [0018]-[0045], table 1, L	1, 3-4
Y		1, 3-4
X	JP 2015-7274 A (KOBE STEEL, LTD.) 15 January 2015 (2015-01-15), paragraphs [0019]-[0030], table 1, test material 18	1, 3-4
Y		1, 3-4
X	JP 6-503854 A (COMALCO ALUMINIUM LIMITED) 28 April 1994 (1994-04-28), table 2, alloy 2	1, 3-4
Y		1, 3-4
X	JP 48-11217 A (SHOWA DENKO KK) 12 February 1973 (1973-02-12), table 1, alloy, no. 7	1
Y		1, 3-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 August 2021

Date of mailing of the international search report
17 August 2021

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer
Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/020104

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17 (2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document 1: JP 2018-513270 A (NOVELIS INC.) 24 May 2018 (2018-05-24), claims, paragraph [0052], tables 1-21 & US 2017/0121802 A1, claims, paragraph [0074], tables 1-22 & WO 2017/075319 A1 & EP 3521466 A1 & CA 2979717 A1 & CN 107406925 A & KR 10-2017-0138533 A & MX 2017011840 A & AU 2016344192 A1 & BR 112017021490 A2 & RS 58615 B1 & RU 2018119275 A

Document 2: JP 2015-137377 A (UACJ EXTRUSION CORP.) 30 July 2015 (2015-07-30), paragraphs [0018]-[0045], table 1, L & EP 2987881 A1, paragraphs [0018]-[0043], table 1, L & WO 2015/111438 A1 & TW 201532882 A

Document 3: JP 2015-7274 A (KOBE STEEL, LTD.) 15 January 2015 (2015-01-15), paragraphs [0019]-[0030], table 1, test material 18 & CN 104250696 A

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

The aluminum alloy material having an aluminum alloy composition (1) indicated below:

aluminum alloy composition (1): Si: 0.30% by mass or less, Fe: above 0.35% by mass, Cu: 0.20% by mass or less, Mn: 0.20-0.70% by mass, Mg: 1.0-2.0% by mass, Cr: 0.30% by mass or less, Zn: 4.0-5.0% by mass, V: 0.10% by mass or less, Zr: 0.25% by mass or less, Ti: 0.20% by mass or less, and further containing Al.

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/020104

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document 4: JP 6-503854 A (COMALCO ALUMINIUM LIMITED) 28 April 1994 (1994-04-28), table 2, alloy 2 & WO 1992/003586 A1, table 2, alloy 2 & EP 544758 A1 & AU 8407591 A & BR 9106787 A & CN 1060115 A & ZA 916651 B & CA 2091355 A1

Document 5: JP 48-11217 A (SHOWA DENKO KK) 12 February 1973 (1973-02-12), table 1, alloy no. 7
(Family: none)

(Invention 1)

The common feature among the aluminum alloy compositions (1)-(7) specified in claim 1 is that the aluminum alloy compositions contain Si at the overlapping range of 0.12% or less, contain Fe at the overlapping range of 0.12% or more, contain Cu, contain Mn at the overlapping range of 0.7% or less, and allow inclusion of Mg, Zr, Cr and Ti.

However, the common feature is not considered to make a contribution over the prior art in light of the disclosures in document 1 (see alloy V4 in Table 4, etc.), document 2 (see L in table 1, etc.), document 3 (test material 18 in table 1, etc.), document 4 (see alloy 2 in table 2, etc.) and document 5 (see alloy No. 7 in table 1, etc.) which were laid open before application of the present application, and thus the technical feature is not a special technical feature (STF) of the invention. In addition, the aluminum alloy compositions (2)-(7) do not have the range of Zn content overlapping with that of the aluminum alloy composition (1), and thus are not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with the aluminum alloy composition (1). Therefore, the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (1) in claim 1 and the inventions in claims 3-4 using the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (1) are classified as invention 1.

(Invention 2)

The aluminum alloy composition (2) specified in claim 1 does not contain Cu and Zn at the ranges that overlap with those of invention 1, and thus is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with invention 1 and thus these are different inventions. Therefore, the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (2) of claim 1 and the inventions in claims 3-4 using the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (2) cannot be classified as invention 1 and thus are classified as invention 2.

(Invention 3)

The aluminum alloy compositions (3) and (6) specified in claim 1 do not contain Cu and Zn at the ranges that overlap with those of invention 1, and thus are not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with invention 1 and thus these are different inventions. In addition, the aluminum alloy compositions (3) and (6) do not contain Cu at the range that substantially overlaps with that of invention 2, and are not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with invention 2 and thus these are different inventions. Therefore, the aluminum alloy materials having the aluminum alloy compositions (3) and (6) of claim 1 and the inventions in claims 2-4 using the aluminum alloy materials having the aluminum alloy compositions (3) and (6) cannot be classified as invention 1 or 2 and thus are classified as invention 3.

(Invention 4)

The aluminum alloy composition (4) specified in claim 1 does not contain Cu and Zn at the ranges that overlap with those of invention 1, and

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/020104

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
thus is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with invention 1 and thus these are different inventions. In addition, the aluminum alloy composition (4) does not contain Cr at the range that overlaps with that of invention 2 or 3, and is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with inventions 2 and 3 and thus these are different inventions. Therefore, the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (4) of claim 1 and the inventions in claims 3-4 using the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (4) cannot be classified as any of inventions 1-3 and thus are classified as invention 4.

(Invention 5)

The aluminum alloy composition (5) specified in claim 1 does not contain Zn at the range that overlaps with that of any of inventions 1-4, and thus is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with inventions 1-4 and thus these are different inventions. Therefore, the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (5) of claim 1 and the inventions in claims 3-4 using the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (5) cannot be classified as any of inventions 1-4 and thus are classified as invention 5.

(Invention 6)

The aluminum alloy composition (7) specified in claim 1 does not contain Zn at the range that overlaps with that of either of inventions 1 and 4, and thus is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with inventions 1 and 4 and thus these are different inventions. In addition, the aluminum alloy composition (7) does not contain Cr at the range that overlaps with that of any of inventions 2, 3 and 5, and is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception with inventions 2, 3 and 5 and thus these are different inventions. Therefore, the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (7) of claim 1 and the inventions in claims 3-4 using the aluminum alloy material having the aluminum alloy composition (7) cannot be classified as any of inventions 1-5 and thus are classified as invention 6.

(Invention 7)

The inventions in claims 5-8 pertain to an agent for preventing hydrogen embrittlement of an aluminum alloy material comprising Al₇Cu₂Fe particles, have different component ranges from those of the aluminum alloy materials having the aluminum alloy compositions (1)-(7), and have a different composition which is not in the relationship of super-ordinate or subordinate conception. Further, agents for preventing hydrogen embrittlement include the concept of preventing hydrogen embrittlement by being added to molten metal, the concept being different from the second phase particles in claim 4. Therefore, the inventions cannot be classified as any of inventions 1-6, and is classified as invention 7.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/020104

JP 2018-513270 A	24 May 2018	US 2017/0121802 A1 claims, paragraph [0074], tables 1-22 WO 2017/075319 A1 EP 3521466 A1 CA 2979717 A1 CN 107406925 A KR 10-2017-0138533 A MX 2017011840 A AU 2016344192 A1 BR 112017021490 A2 RS 58615 B1 RU 2018119275 A
JP 2015-137377 A	30 July 2015	EP 2987881 A1 paragraphs [0018]-[0043], table 1, L WO 2015/111438 A1 TW 201532882 A
JP 2015-7274 A	15 January 2015	CN 104250696 A
JP 6-503854 A	28 April 1994	WO 1992/003586 A1 table 2, alloy 2 EP 544758 A1 AU 8407591 A BR 9106787 A CN 1060115 A ZA 916651 B CA 2091355 A1
JP 48-11217 A	12 February 1973	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 21/10(2006.01)i FI: C22C21/10		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C21/10		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2021年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2018-513270 A (ノベリス・インコーポレイテッド) 24.05.2018 (2018-05-24) 特許請求の範囲、段落0052、表1～21	1,3-4 1,3-4
X Y	JP 2015-137377 A (株式会社UACJ押出加工) 30.07.2015 (2015-07-30) 段落0018-0045、表1のL	1,3-4 1,3-4
X Y	JP 2015-7274 A (株式会社神戸製鋼所) 15.01.2015 (2015-01-15) 段落0019-0030、表1の試験材18	1,3-4 1,3-4
X Y	JP 6-503854 A (コマルコ アルミニウム リミティド) 28.04.1994 (1994-04-28) 表2の合金2	1,3-4 1,3-4
X Y	JP 48-11217 A (昭和電工株式会社) 12.02.1973 (1973-02-12) 第1表の合金N o. 7	1 1,3-4
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</p> <p>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</p> <p>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>		
国際調査を完了した日 02.08.2021	国際調査報告の発送日 17.08.2021	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 河口 展明 4K 3770 電話番号 03-3581-1101 内線 3435	

第III欄

発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

文献1：JP 2018-513270 A (ノベリス・インコーポレイテッド) 24.05.2018(2018-05-24)

特許請求の範囲、段落0052、表1～21

& US 2017/0121802 A1

特許請求の範囲、段落0074、表1～22

& WO 2017/075319 A1

& EP 3521466 A1

& CA 2979717 A1

& CN 107406925 A

& KR 10-2017-0138533 A

& MX 2017011840 A

& AU 2016344192 A1

& BR 112017021490 A2

& RS 58615 B1

& RU 2018119275 A

文献2：JP 2015-137377 A (株式会社UACJ押出加工) 30.07.2015(2015-07-30)

段落0018-0045、表1のL

& EP 2987881 A1

段落0018-0043、表1のL

& WO 2015/111438 A1

& TW 201532882 A

文献3：JP 2015-7274 A (株式会社神戸製鋼所) 15.01.2015(2015-01-15)

段落0019-0030、表1の試験材18

& CN 104250696 A

文献4：JP 6-503854 A (コマルコ アルミニウム リミティド) 28.04.1994(1994-04-28)

表2の合金2

& WO 1992/003586 A1

表2の合金2

& EP 544758 A1

& AU 8407591 A

& BR 9106787 A

& CN 1060115 A

& ZA 916651 B

& CA 2091355 A1

文献5：JP 48-11217 A (昭和電工株式会社) 12.02.1973(1973-02-12)

第1表の合金No. 7 (ファミリーなし)

(発明1)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成(1)～(7)に共通の事項は、アルミニウム合金組成が、Siが0.12%以下で重複し、Feが0.12%以上で重複し、Cuが含まれており、Mnが0.7%以下で重複し、Mg、Zr、Cr、Tiを含むことを許容している点である。

しかしながら、当該共通の事項は、本願出願前に公開された文献1(表4の合金V4等参照)、文献2(表1のL等参照)、文献3(表1の試験材18等参照)、文献4(表2の合金2等参照)、文献5(第1表の合金No. 7等参照)に記載された開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、発明の特別な技術的特徴(STF)ではない。また、アルミニウム合金組成(2)～(7)は、アルミニウム合金組成(1)と、Znの含有範囲が重複していないから、上位概念、下位概念の関係にもない。したがって、請求項1のアルミニウム合金組成(1)のアルミニウム合金材、および、請求項3～4において、アルミニウム合金組成(1)のアルミニウム合金材を採用した発明を発明1に区分する。

(発明2)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成(2)は、CuおよびZnの含有範囲が発明1と重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。したがって、請求項1のアルミニウム

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

ム合金組成（2）のアルミニウム合金材、および、請求項3-4において、アルミニウム合金組成（2）のアルミニウム合金材を採用した発明は、発明1に区分できないから発明2に区分する。

(発明3)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成（3）（6）は、CuおよびZnの含有範囲が発明1と重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。また、発明2とも、Cuの含有範囲が実質的に重複しておらず、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。したがって、請求項1のアルミニウム合金組成（3）（6）のアルミニウム合金材、および、請求項2-4において、アルミニウム合金組成（3）（6）のアルミニウム合金材を採用した発明は、発明1-2のいずれにも区分できないから発明3に区分する。

(発明4)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成（4）は、CuおよびZnの含有範囲が発明1と重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。また、発明2、3とも、Crの範囲が重複しておらず、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。したがって、請求項1のアルミニウム合金組成（4）のアルミニウム合金材、および、請求項3-4において、アルミニウム合金組成（4）のアルミニウム合金材を採用した発明は、発明1-3のいずれにも区分できないから発明4に区分する。

(発明5)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成（5）は、Znの含有範囲が発明1-4のいずれとも重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。したがって、請求項1のアルミニウム合金組成（5）のアルミニウム合金材、および、請求項3-4において、アルミニウム合金組成（5）のアルミニウム合金材を採用した発明は、発明1-4のいずれにも区分できないから発明5に区分する。

(発明6)

請求項1に特定されるアルミニウム合金組成（7）は、Znの含有範囲が発明1、4のいずれとも重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。また、Crの含有範囲が発明2-3、5のいずれとも重複しないから、上位概念、下位概念の関係ともいえず、別発明である。したがって、請求項1のアルミニウム合金組成（7）のアルミニウム合金材、および、請求項3-4において、アルミニウム合金組成（7）のアルミニウム合金材を採用した発明は、発明1-5のいずれにも区分できないから発明6に区分する。

(発明7)

請求項5-8に係る発明は、Al₇Cu₂Fe粒子からなるアルミニウム合金材の水素脆化防止剤であって、アルミニウム合金組成（1）-（7）のアルミニウム合金材とは成分範囲が異なっており、上位概念、下位概念の関係にはない別組成である。さらに、水素脆化防止剤とは、溶湯に添加して水素脆化を防止するという趣旨の概念を含んでおり、請求項4の第2相粒子とは概念が異なる。したがって、発明1-6に区分できないから発明7に区分する。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。
アルミニウム合金組成が、下記アルミニウム合金組成（1）である、アルミニウム合金材。
アルミニウム合金組成（1） Si: 0.30質量%以下、Fe: 0.35質量%超、Cu: 0.20質量%以下、Mn: 0.20~0.70質量%、Mg: 1.0~2.0質量%、Cr:

第III欄

発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

0.30質量%以下、Zn:4.0~5.0質量%、V:0.10質量%以下、Zr:0.25質量%以下、Ti:0.20質量%以下であり、さらにA1を含む。

- 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立て手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立て手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかつた。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかつた。

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/020104

引用文献	公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP 2018-513270 A	24.05.2018	US 2017/0121802 A1 特許請求の範囲、段落00 74、表1～22	WO 2017/075319 A1 EP 3521466 A1 CA 2979717 A1 CN 107406925 A KR 10-2017-0138533 A MX 2017011840 A AU 2016344192 A1 BR 112017021490 A2 RS 58615 B1 RU 2018119275 A	
JP 2015-137377 A	30.07.2015	EP 2987881 A1 段落0018-0043、 表1のL	WO 2015/111438 A1 TW 201532882 A	
JP 2015-7274 A	15.01.2015	CN 104250696 A		
JP 6-503854 A	28.04.1994	WO 1992/003586 A1 表2の合金2	EP 544758 A1 AU 8407591 A BR 9106787 A CN 1060115 A ZA 916651 B CA 2091355 A1	
JP 48-11217 A	12.02.1973	(ファミリーなし)		