(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
2010 年 9 月 10 日(10.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/101122 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 23/04 (2006.01)　*C22F 1/06* (2006.01)
B21C 23/00 (2006.01)　*C22F 1/00* (2006.01)
C22C 23/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/053266

(22) 国際出願日: 2010 年 3 月 1 日(01.03.2010)

(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 2009-047482 2009 年 3 月 2 日(02.03.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人　熊本大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KUMAMOTO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市黒髪２丁目３９番１号 Kumamoto (JP). 財団法人くまもとテクノ産業財団(Kumamoto Technology&Industry Foundation) [JP/JP]; 〒8612202 熊本県上益城郡益城町大字田原２０８１番地１０ Kumamoto (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 河村　能人 (KAWAMURA Yoshihito) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市黒髪２丁目３９番１号　国立大学法人熊本大学内 Kumamoto (JP). 金　鍾鉉(KIM, Jonghyun) [KR/JP]; 〒8612202 熊本県上益城郡益城町大字田原２０８１番地１０　財団法人くまもとテクノ産業財団内 Kumamoto (JP).

(74) 代理人: 有吉　修一朗(ARIYOSHI Shuichiro); 〒8100001 福岡県福岡市中央区天神１丁目６番８号天神ツインビル６階 Fukuoka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

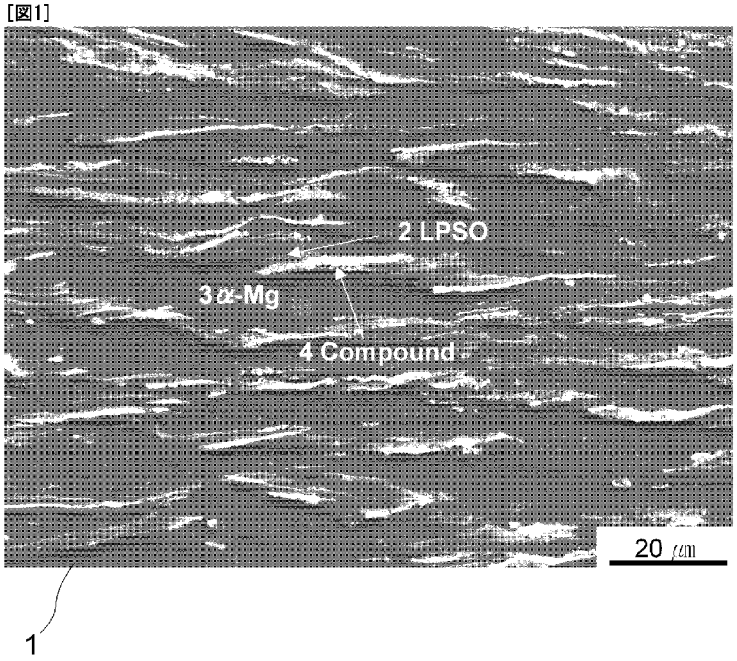
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL,

[続葉有]

(54) **Title**: MAGNESIUM ALLOY

(54) 発明の名称 : マグネシウム合金

[図1]



(57) **Abstract**: Disclosed is a magnesium alloy having high yield strength and high tensile strength. Specifically disclosed is a magnesium alloy comprising an Mg-Zn-Y-RE-based alloy which contains Zn and Y as the essential components and also contains at least one element selected from La, Ce, Nd, Pr, Sm and Yb as the rare earth element (RE), with the remainder being Mg and unavoidable impurities. In the magnesium alloy, LPSO, an αMg phase and at least one compound selected from an Mg-RE compound and an Mg-Zn-RE compound are contained in an alloy structure of the Mg-Zn-Y-RE-based alloy. In the alloy, LPSO and the compound form a laminated structure, wherein the thickness of LPSO is 0.5 to 5 μm and the thickness of the compound is 0.01 to 2 μm.

(57) 要約: 高い降伏強度を有すると共に高い引張強度を有するマグネシウム合金を提供することを目的とする。そのために、必須成分としてＺｎ、Ｙ、及び、希土類元素（ＲＥ）としてＬａ、Ｃｅ、Ｎｄ、Ｐｒ、Ｓｍ、Ｙｂのうち少なくとも１つ以上を含有し、残部がＭｇと不可避的不純物からなるＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金から構成されるマグネシウム合金をなし、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中に、ＬＰＳＯ、αＭｇ相、及び、Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物を有する。更に、ＬＰＳＯと化合物が積層構造を構成し、ＬＰＳＯの厚さを０．５μｍ～５μｍとし、化合物の厚さを０．０１μｍ～２μｍとする。

WO 2010/101122 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 **4.17** に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

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 ： マグネシウム合金

技術分野

[0001] 本発明はマグネシウム合金に関する。詳しくは、高い降伏強度を得ることができると共に、高い引張強度を得ることができるマグネシウム合金に係るものである。

背景技術

[0002] 一般に、マグネシウム合金は、実用化されている合金の中で最も密度が低く軽量で強度も高いため、電気製品の筐体や、自動車のホイール、足回り部品、エンジン回り部品等への適用が進められている。

特に、自動車に関連する用途の部品においては、高い機械的特性が要求されるため、ＧｄやＺｎ等の元素を添加したマグネシウム合金として、片ロール法、急速凝固法により特定の形態の材料を製造することが行われている（例えば、特許文献１、特許文献２参照。）。

[0003] しかし、上記したマグネシウム合金は、特定の製造方法においては高い機械的特性が得られるものの、特定の製造方法を実現するためには特殊な設備が必要であり、しかも、生産性が低いといった問題があり、更には、適用できる部材も限られるといった問題があった。

[0004] そこで、従来、マグネシウム合金を製造する場合、上記した特許文献１及び特許文献２に記載の様な特殊な設備あるいはプロセスを用いずに、生産性の高い通常の溶解鋳造から塑性加工（押出）を実施しても、実用上有用な機械的特性が得られる技術が提案されている（例えば、特許文献３参照。）。なお、特許文献３に開示されているマグネシウム合金は、３００ＭＰａ程度の引張強度を有していることが知られている。

[0005] また、近年使用されているＡＺ系、ＷＥ系マグネシウム合金の降伏強度は３００ＭＰａ程度であり、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ系合金の場合であっても降伏強度は３５０ＭＰａ程度、引張強度は３９０ＭＰａ程度である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平６－４１７０１号公報

特許文献2：特開２００２－２５６３７０号公報

特許文献3：特開２００６－９７０３７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、軽量化の目的でマグネシウム合金の自動車への応用を進めるためには、降伏強度及び引張強度を更に向上させることが要求されていた。

[0008] 本発明は、上記の点に鑑みて創案されたものであって、特殊な製造設備及びプロセスを使用することなく、高い降伏強度及び引張強度を得ることができるマグネシウム合金を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0009] 上記の目的を達成するために、本発明のマグネシウム合金では、必須成分としてＺｎ、Ｙ、及び、希土類元素（ＲＥ）としてＬａ、Ｃｅ、Ｎｄ、Ｐｒ、Ｓｍ、Ｙｂのうち少なくとも１つ以上を含有し、残部がＭｇと不可避的不純物からなるＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金から構成されるマグネシウム合金であって、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中に、長周期積層構造相、αＭｇ相、及び、Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物を有すると共に、前記長周期積層構造相と前記化合物が積層構造を構成し、更に、前記長周期積層構造相の厚さが０．５μｍ～５μｍである。

[0010] ここで、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中の長周期積層構造相（以下、「ＬＰＳＯ：Ｌｏｎｇ Ｐｅｒｉｏｄ Ｓｔａｃｋｉｎｇ Ｏｒｄｅｒ」と称する。）の厚さを０．５μｍ～５μｍとしているのは、高い降伏強度（σ０．２）を実現すると共に、高い引張強度（σＵＴＳ）を実現するた

めである。以下、この点について説明を行う。

[0011] 図２にＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中のＬＰＳＯの体積分率と降伏強度（ＹＳ）との関係と、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中のＬＰＳＯの体積分率と引張強度（ＵＴＳ）との関係を示している。図２から明らかな様に、ＬＰＳＯの体積分率が増加するにつれて高い降伏強度と高い引張強度を実現することができる。

ここで、化合物と共に積層構造を構成しているＬＰＳＯの厚さが薄いということは、ＬＰＳＯの体積分率が小さいということを意味する。そして、ＬＰＳＯの厚さが０．５μｍ未満である場合には、ＬＰＳＯの体積分率が少なすぎるために、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の降伏強度が、従来のマグネシウム合金の降伏強度（一例として、$Mg_{97}Zn_1Y_2$の降伏強度は３５０．４ＭＰａである。）よりも低下してしまう。同様に、ＬＰＳＯの厚さが０．５μｍ未満である場合には、ＬＰＳＯの体積分率が少なすぎるために、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の引張強度が、従来のマグネシウム合金の引張強度（一例として、$Mg_{97}Zn_1Y_2$の引張強度は３９７．２ＭＰａである。）よりも低下してしまう。

従って、従来のマグネシウム合金の降伏強度よりも高い降伏強度を実現すると共に、従来のマグネシウム合金の引張強度よりも高い引張強度を実現するために、ＬＰＳＯの厚さを０．５μｍ以上としているのである。

[0012] なお、ここでは、ＬＰＳＯが薄いということは、ＬＰＳＯの体積分率が小さいということに着目して説明を行っているが、ＬＰＳＯの厚さが薄いということは、αＭｇの体積分率が増加することをも意味しており、αＭｇが増加することによっても降伏強度や引張強度が低下することにつながる。いずれにしても、ＬＰＳＯの厚さを０．５μｍ以上とすることによって、従来のマグネシウム合金の降伏強度よりも高い降伏強度を実現し、更に、従来のマグネシウム合金の引張強度よりも高い引張強度を実現することができる。

[0013] ところで、上述の通り、ＬＰＳＯの体積分率が増加するにつれて高い降伏強度と高い引張強度を実現することができるのであるが、その反面、ＬＰＳ

Ｏの体積分率の増加につれて延性は低下することとなる。

ここで、化合物と共に積層構造を構成しているＬＰＳＯの厚さが厚いということは、ＬＰＳＯの体積分率が大きいことを意味する。そして、ＬＰＳＯの厚さが５μｍを超えた場合には、ＬＰＳＯの体積分率が大きすぎるために、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の延性が低下してしまう。

従って、高い降伏強度と高い引張強度を実現すると共に、延性の著しい低下を回避するために、ＬＰＳＯの厚さを５μｍ以下としているのである。

[0014] また、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中のＭｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物の厚さを０．０１μｍ～２μｍとすることで、更に確実に高い降伏強度を実現することができると共に、高い引張強度を実現することができる。以下、この点について説明を行う。

[0015] 図３にＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中の化合物の体積分率と降伏強度（ＹＳ）との関係と、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中の化合物の体積分率と引張強度（ＵＴＳ）との関係を示している。図３から明らかな様に、化合物の体積分率が所定範囲（図３中符号Ａで示す範囲）に属する場合に、高い降伏強度を実現することができると共に、高い引張強度を実現することができる。

ここで、ＬＰＳＯと共に積層構造を構成している化合物の厚さが薄いということは化合物の体積分率が小さいということを意味し、化合物の厚さが厚いということは化合物の体積分率が大きいということを意味する。そして、化合物の厚さが０．０１μｍ以上２μｍ以下である場合には、概ね図３中符号Ａで示す範囲に該当することとなる。

従って、化合物の厚さが０．０１μｍ～２μｍとすると、更に確実に高い降伏強度を実現することができると共に、高い引張強度を実現することができるのである。

[0016] 更に、Ｚｎの成分範囲を２．５ａｔ％未満とすると、延性の低下を抑制することができる。図４にＺｎの含有量と延性比との関係を示している。図４

から明らかな様に、Ｚｎの含有量が２．５ａｔ％以上になると延性比が概ね３０％よりも低下することとなる。従って、高い降伏強度を実現し、高い引張強度を実現すると共に、延性の著しい低下を回避するためには、Ｚｎの成分範囲を２．５ａｔ％未満とする方が好ましい。なお、Ｚｎの成分範囲を２ａｔ％以下にすると、延性比が概ね４０％以上を確保することができるために、より一層好ましいといえる。

発明の効果

[0017] 本発明のマグネシウム合金では、高い降伏強度を実現することができると共に、高い引張強度をも実現することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]結晶組織を示す顕微鏡写真である。

[図2]ＬＰＳＯの体積分率と降伏強度との関係及びＬＰＳＯの体積分率と引張強度との関係を示すグラフである。

[図3]化合物の体積分率と降伏強度との関係及び化合物の体積分率と引張強度との関係を示すグラフである。

[図4]Ｚｎの含有量と延性比との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施の形態について図面を参酌しながら説明し、本発明の理解に供する。

図１は$Mg_{97}Zn_1Y_1Yb_1$合金の結晶組織を示す顕微鏡写真である。

[0020] 本発明を適用したマグネシウム合金は、高温雰囲気で使用される部品、例えば、自動車用部品、特に、内燃機関用ピストン、バルブ、タペット、スプロケット等に使用される。なお、マグネシウム合金の形状については、例えば、板状や棒状等であって、使用される部品の形状に応じて適宜選択されることとなる。

[0021] さて、本発明を適用したマグネシウム合金は、必須成分としてＺｎ、Ｙ、及び、希土類元素（ＲＥ）としてＬａ、Ｃｅ、Ｎｄ、Ｐｒ、Ｓｍ、Ｙｂのうち少なくとも１つ以上を含有し、残部がＭｇと不可避的不純物からなるＭｇ

－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金から構成されており、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中には、ＬＰＳＯ、αＭｇ相、及び、Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物を有している。

[0022] ここで、図１で示すマグネシウム合金１は、その合金組織中に、ＬＰＳＯ２、αＭｇ相３及び化合物４とを有し、ＬＰＳＯ２と化合物４とが積層構造（層状構造）を形成している。なお、図１で示すマグネシウム合金では、積層構造をなすＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍである。

[0023] ［αＭｇ相について］

先ず、本発明のマグネシウム合金は、αＭｇ相を有している。

ここで、αＭｇ相は、溶解鋳造工程において、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金のセル構造（概ね平均粒径５０μｍ以上）内で、後述するＬＰＳＯとラメラ相を形成する。なお、αＭｇ相は、高温雰囲気下（熱間）で行われる塑性加工工程において、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中の少なくとも一部（ＬＰＳＯの分断部）が、平均粒径２μｍ以下に微細化した（微細αＭｇ相が析出した）方が好ましい。

[0024] ［ＬＰＳＯについて］

また、本発明のマグネシウム合金は、ＬＰＳＯを有している。

ここで、ＬＰＳＯとは、マグネシウム合金の粒内及び粒界に析出する析出物であって、ＨＣＰ構造における底面原子層の並びが底面法線方向に長周期規則をもって繰り返される構造、即ち、長周期構造をいう。更に詳細には、ＬＰＳＯは、例えば、規則格子が複数個並び、逆位相のズレを介して再び規則格子が複数個並びといった具合に、元の格子の数倍から１０数倍の単位の構造が作られ、その周期が長い構造のものをいう。そして、ＬＰＳＯは、規則相と不規則相との間のわずかな温度範囲に出現し、電子回折した図には規則相の反射が分裂して、数倍から１０数倍の周期に対応する位置に回折斑点が現れることとなる。

こうしたＬＰＳＯの析出によって、マグネシウム合金の機械的特性（引張

強度、降伏強度及び伸び）が向上することとなる。

[0025] また、ＬＰＳＯは、溶解鋳造工程、または、溶解、鋳造後の熱処理工程において、鋳造材（Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金）の合金組織、即ち、セル構造内で、αＭｇ相と共に層状組織粒であるラメラ相を形成する。そして、ＬＰＳＯは直線状に形成され、その形成方向は、同一セル構造内では同一方向に形成され、セル構造同士では互いに異なる方向に形成される。

[0026] ところで、ＬＰＳＯが形成されたままの状態では、マグネシウム合金材の機械的性質が不充分であり、高い引張強度及び降伏強度を維持しながら、高い伸びを得ることができない。そのため、形成されたＬＰＳＯの少なくとも一部に湾曲部及び屈曲部のうち少なくとも一方を形成し、かつ、規則格子の並びが壊れた分断部を形成する。なお、こうしたＬＰＳＯへの湾曲部、屈曲部、分断部の形成は、鋳造材、または、熱処理された鋳造材を熱間塑性加工する塑性加工工程を行うことによって達成されることとなる。

[0027] ここで、上述した様に、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中の少なくとも一部（例えば、ＬＰＳＯの分断部）における平均粒径２μｍ以下に微細化された微細αＭｇ相の析出も、塑性加工工程を行うことによって達成されることとなる。なお、熱間塑性加工によって鋳造時に形成されたセル構造は消失する。

[0028] ［化合物について］

また、本発明のマグネシウム合金は、Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物を有している。具体的には、例えば、$Mg_{41}Sm_5$、$Mg_{12}Ce$、$Mg_{17}La_2$、$Mg_{12}Pr$、$Mg_{12}Nd$といった化合物を有している。

そして、こうした化合物の分散度合いが高いことによって、高い降伏強度と高い引張強度が実現することとなる。

[0029] ［ＬＰＳＯの厚さについて］

本発明のマグネシウム合金では、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍとなる様に組織制御を行っている。

ここで、ＬＰＳＯの厚さが０．５μｍ以上となる様に組織制御を行うことによって、従来のマグネシウム合金の降伏強度（一例として、$Mg_{97}Zn_1Y_2$の降伏強度は３５０．４ＭＰａである。）よりも高い降伏強度を実現すると共に、従来のマグネシウム合金の引張強度（一例として、$Mg_{97}Zn_1Y_2$の引張強度は３９７．２ＭＰａである。）よりも高い引張強度を実現することとなる。また、ＬＰＳＯの厚さが５μｍ以下となる様に組織制御を行うことによって、延性の著しい低下を回避している。

[0030] ［化合物の厚さについて］

本発明のマグネシウム合金では、化合物（Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物）の厚さが０．０１μｍ～２μｍとなる様に組織制御を行っている。

この様な組織制御を行うことによって、確実に高い降伏強度を実現することができると共に、高い引張強度を実現することができることとなる。

[0031] ［Ｚｎの成分範囲について］

本発明のマグネシウム合金では、Ｚｎの成分範囲が２．５ａｔ％未満となる様に組織制御を行っている。この様な組織制御を行うことによって、延性の著しい低下を回避することができるためである。

なお、ＬＰＳＯと金属間化合物をより多く存在させるためには、より多くの添加元素を含有させる必要があるとも考えられる。しかし、多くの添加元素を含有させた場合にはコスト面で不利となってしまうために、添加元素量はできる限り制限したいといった要求がある。したがって、Ｚｎの成分範囲を２ａｔ％以下に組織制御することがより好ましく、こうした組織制御を行うことによって、上記の要求にも応じることができ、更には、延性比も約４０％を確保することができる。

実施例

[0032] 以下、本発明の実施例について説明を行う。なお、ここで示す実施例は一例であり本発明を限定するものではない。

[0033] 先ず、本発明の実施例のマグネシウム合金として、以下に示す（１）～（

６）の試験片を作成した。

[0034] ［試験片（１）］

Ｚｎを２ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｌａを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｌａ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（１）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0035] ［試験片（２）］

Ｚｎを２ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｃｅを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｃｅ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（２）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0036] ［試験片（３）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｌａを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｌａ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（３）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0037] ［試験片（４）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｃｅを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｃｅ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（４）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0038] ［試験片（５）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｐｒを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｐｒ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（５）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0039] ［試験片（６）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１．５ａｔ％、Ｌａを０．５ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｌａ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（６）では、ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍとなる様に組織制御を行った。

[0040] また、比較データとして、以下に示す（７）～（１２）の試験片を作成し

た。

[0041] ［試験片７］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを２ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（７）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0042] ［試験片（８）］

Ｚｎを２ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｎｄを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｎｄ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（８）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0043] ［試験片（９）］

Ｚｎを２ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｓｍを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｓｍ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（９）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0044] ［試験片（１０）］

Ｚｎを２ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｙｂを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｙｂ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス

精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（１０）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0045] ［試験片（１１）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｎｄを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｎｄ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（１１）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0046] ［試験片（１２）］

Ｚｎを１ａｔ％、Ｙを１ａｔ％、Ｓｍを１ａｔ％とし、残部がＭｇと不可避的不純物のＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－Ｓｍ合金を真空溶解炉に投入し、フラックス精錬により溶解を行った。次に、加熱溶解した材料を金型に入れて鋳造し、φ２９ｍｍ×Ｌ６０ｍｍのインゴット（鋳造材）を作成した。続いて、押出温度３５０℃において押出比１０として塑性加工（押出加工）を行ったものを製造した。なお、試験片（１２）では、ＬＰＳＯと化合物とは積層構造（層状構造）をなさない様に組織制御を行った。

[0047] 以上の様にして得られた試験片（１）～（１２）を室温にて引張試験を行い、機械的特性を評価した結果を表１に示す。

[0048]

[表1]

試験片No.	Alloy	Tensile properties	
		σ0.2	σUTS
1	$Mg_{96}Zn_2Y_1La_1$	380.5	423.4
2	$Mg_{96}Zn_2Y_1Ce_1$	377.5	410.7
3	$Mg_{97}Zn_1Y_1La_1$	395.7	437.2
4	$Mg_{97}Zn_1Y_1Ce_1$	393.5	440.1
5	$Mg_{97}Zn_1Y_1Pr_1$	357.1	420.3
6	$Mg_{97}Zn_1Y_{1.5}La_{0.5}$	354.3	417.4
7	$Mg_{97}Zn_1Y_2$	350.4	397.2
8	$Mg_{96}Zn_2Y_1Nd_1$	349.8	365.9
9	$Mg_{96}Zn_2Y_1Sm_1$	304.4	374.8
10	$Mg_{96}Zn_2Y_1Yb_1$	355.4	373.6
11	$Mg_{97}Zn_1Y_1Nd_1$	337.2	369.1
12	$Mg_{97}Zn_1Y_1Sm_1$	325.6	364.6

[0049] 表１の試験片（７）の評価結果から明らかな様に、３元系合金であるＭｇ－Ｚｎ－Ｙ合金の場合には、降伏強度が３５０．４ＭＰａ、引張強度が３９７．２ＭＰａである。

ここで、表１の試験片（８）～（１２）の評価結果から明らかな様に、「ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍである」といった条件を満たしていない場合には、３元系合金である試験片（７）よりも降伏強度若しくは引張強度のいずれか一方が低下していることが分かる。具体的には、試験片（８）の評価結果では、降伏強度が３４９．８ＭＰａ、引張強度が３６５．９ＭＰａであり、試験片（７）よりも降伏強度及び引張強度が低下していることが分かる。また、試験片（９）の評価結果では、降伏強度が３０４．４ＭＰａ、引張強度が３７４．８ＭＰａであり、試験片（７）よりも降伏強度及び引張強度が低下していることが分かる。また、試験片（１０）の評価結果では、降伏強度が３５５．４ＭＰａ、引張強度が３７３．６ＭＰａであり、試験片（７）よりも引張強度が低下していることが分かる。また、試験片（１１）の評価結果では、降伏強度が３３７．２ＭＰａ、引張強度

が３６９．１ＭＰａであり、試験片（７）よりも降伏強度及び引張強度が低下していることが分かる。また、試験片（１２）の評価結果では、降伏強度が３２５．６ＭＰａ、引張強度が３６４．６ＭＰａであり、試験片（７）よりも降伏強度及び引張強度が低下していることが分かる。

[0050] 一方、表１の試験片（１）～（６）の評価結果から明らかな様に、「ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍである」といった条件を満たしている場合には、降伏強度が３５０．４ＭＰａである３元系の試験片（７）よりも高い降伏強度を実現することができると共に、引張強度が３９７．２ＭＰａである３元系の試験片（７）よりも高い引張強度を実現することができる。

[0051] なお、本実施例では、３元系合金である表１の試験片（７）の評価結果が基準となり、本発明の実施例のマグネシウム合金である試験片（１）～（６）については試験片（７）よりも高い降伏強度と引張強度が実現でき、本発明の実施例ではないマグネシウム合金である試験片（８）～（１２）については試験片（７）よりも降伏強度若しくは引張強度の少なくとも一方が低下している場合を例に挙げている。

[0052] しかし、成分範囲の条件を調整することによって、３元系合金が高い降伏強度及び引張強度を実現することが考えられ、本発明の実施例のマグネシウム合金が必ずしも３元系合金よりも高い降伏強度及び引張強度を実現するというものではない。

[0053] 即ち、本実施例では、Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金から構成されるマグネシウム合金について、「ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍである」といった条件を満足する場合は高い降伏強度及び引張強度が実現でき、「ＬＰＳＯと化合物とが積層構造（層状構造）をなし、ＬＰＳＯの厚さが０．５～５μｍであり、化合物の厚さが０．０１～２μｍである」といった条件を満足しない場合は降伏強度若しくは引張強度の少なくとも一方が

低下してしまうということを示すものである。

符号の説明

[0054] １　マグネシウム合金

２　ＬＰＳＯ

３　αMg相

４　化合物

請求の範囲

[請求項1] 必須成分としてＺｎ、Ｙ、及び、希土類元素（ＲＥ）としてＬａ、Ｃｅ、Ｎｄ、Ｐｒ、Ｓｍ、Ｙｂのうち少なくとも１つ以上を含有し、残部がＭｇと不可避的不純物からなるＭｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金から構成されるマグネシウム合金であって、

Ｍｇ－Ｚｎ－Ｙ－ＲＥ系合金の合金組織中に、長周期積層構造相、αＭｇ相、及び、Ｍｇ－ＲＥ化合物若しくはＭｇ－Ｚｎ－ＲＥ化合物の少なくとも１つ以上の化合物を有すると共に、

前記長周期積層構造相と前記化合物が積層構造を構成し、

更に、前記長周期積層構造相の厚さが０．５μｍ～５μｍであるマグネシウム合金。

[請求項2] 前記化合物の厚さが０．０１μｍ～２μｍである

請求項１に記載のマグネシウム合金。

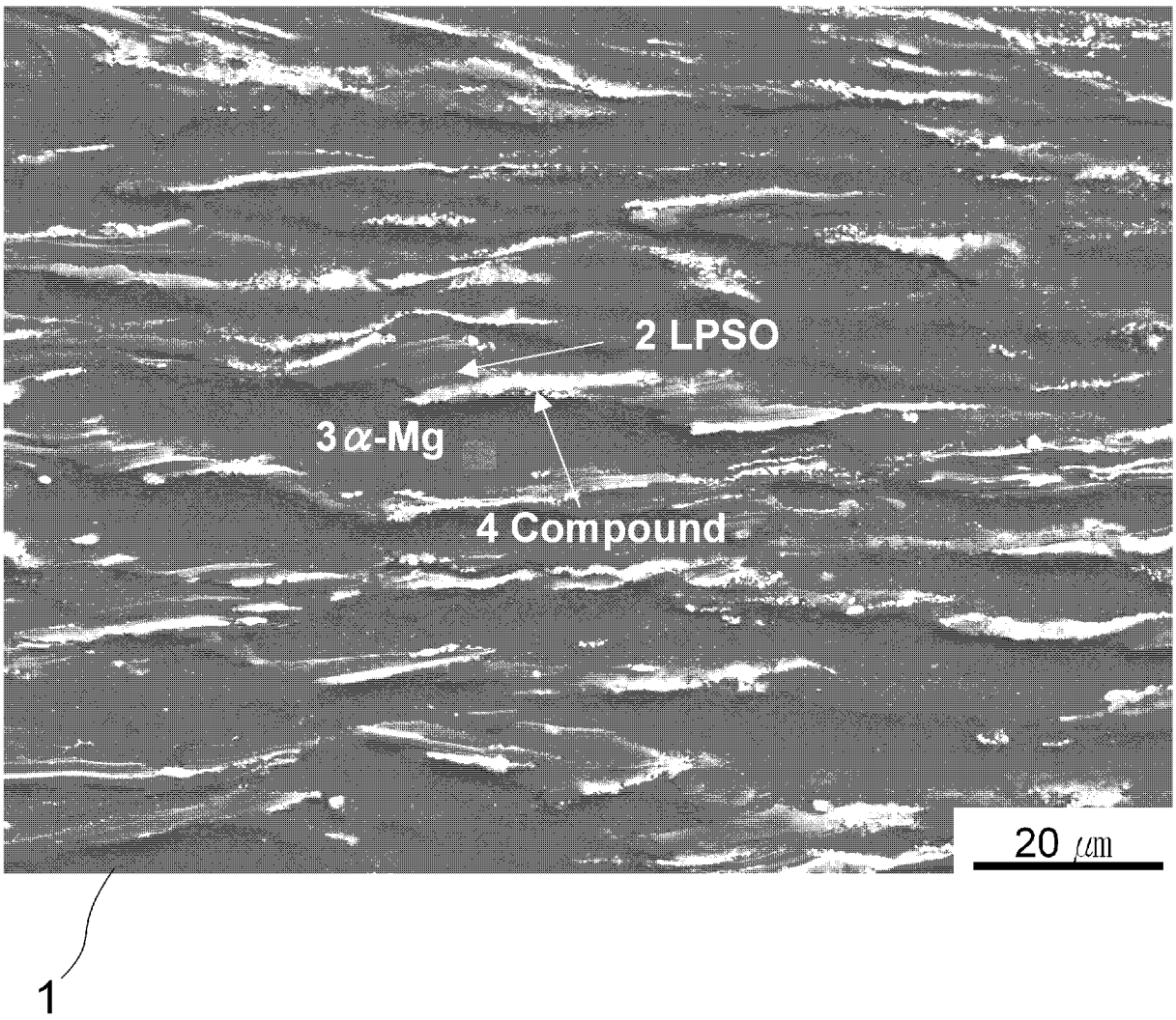
[請求項3] 前記Ｚｎは成分範囲が２．５原子%未満である

請求項１または請求項２に記載のマグネシウム合金。

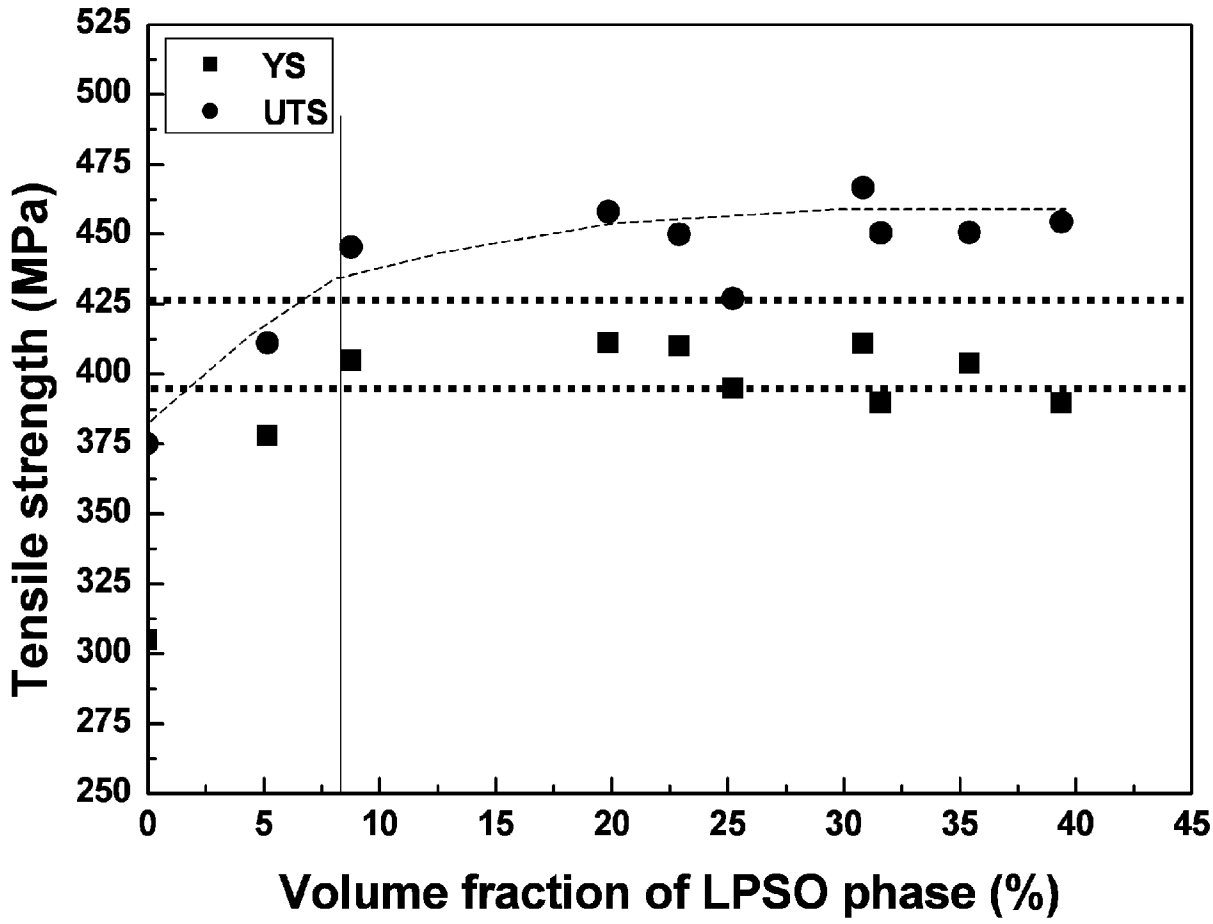
[請求項4] 前記Ｚｎは成分範囲が２原子%以下である

請求項１または請求項２に記載のマグネシウム合金。

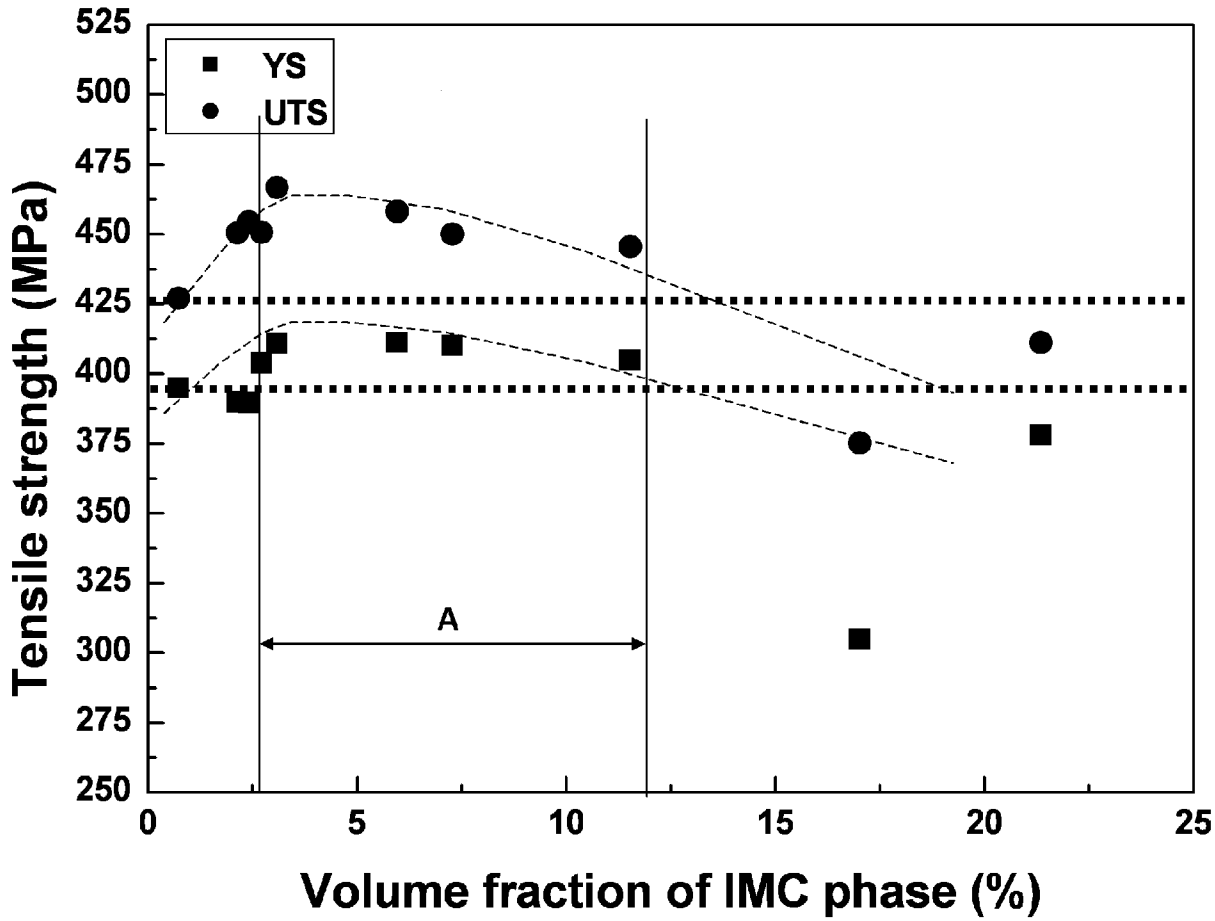
[図1]



[図2]

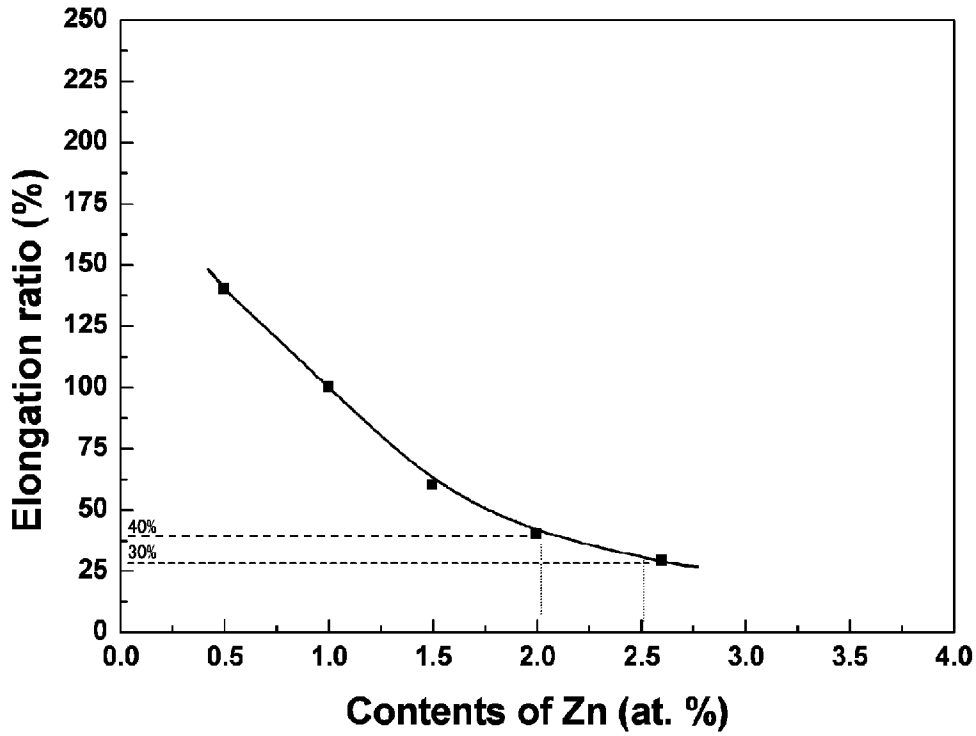

YS
UTS
Tensile strength (MPa)
Volume fraction of LPSO phase (%)
525
500
475
450
425
400
375
350
325
300
275
250
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

[図3]



[図4]

Elongation ratio (%) = (elongation of alloy / elongation of standard alloy) × 100
Standard alloy : Zn 1at. % alloy



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/053266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C23/04(2006.01)i, *B21C23/00*(2006.01)i, *C22C23/06*(2006.01)i, *C22F1/06*(2006.01)i, *C22F1/00*(2006.01)n

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C22C23/00-23/06, B21C23/00, C22F1/06, C22F1/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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	WO 2005/052203 A1 (Yoshihito KAWAMURA), 09 June 2005 (09.06.2005), claims 1, 13, 14; paragraphs [0094], [0130]; tables 1, 2 & US 2007/0125464 A1 & US 2007/0102072 A1 & EP 1688509 A1 & EP 1690954 A1 & WO 2005/052204 A1 & KR 10-2006-0100450 A & KR 10-2006-0123192 A & CN 001886528 A & CN 001886529 A & JP 003905115 B & JP 003940154 B	1-4

☐ 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	Date of mailing of the international search report
12 May, 2010 (12.05.10)	25 May, 2010 (25.05.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０５３２６６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C23/04(2006.01)i, B21C23/00(2006.01)i, C22C23/06(2006.01)i, C22F1/06(2006.01)i, C22F1/00(2006.01)n

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C23/00-23/06, B21C23/00, C22F1/06, C22F1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０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	WO 2005/052203 A1(河村能人)2005.06.09, 請求項 1, 13, 14, [0094], [0130], 表 1, 表 2 & US 2007/0125464 A1 & US 2007/0102072 A1 & EP 1688509 A1 & EP 1690954 A1 & WO 2005/052204 A1 & KR 10-2006-0100450 A & KR 10-2006-0123192 A & CN 001886528 A & CN 001886529 A & JP 003905115 B & JP 003940154 B	1-4

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １２．０５．２０１０	国際調査報告の発送日 ２５．０５．２０１０
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｋ　３７７０ 河口　展明 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４３５