

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-160495

(P2017-160495A)

(43) 公開日 平成29年9月14日(2017.9.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 23/02 (2006.01)	C 2 2 C 23/02	
C 2 2 C 23/06 (2006.01)	C 2 2 C 23/06	
B 2 2 D 17/00 (2006.01)	B 2 2 D 17/00	Z
B 2 2 D 21/04 (2006.01)	B 2 2 D 21/04	B
C 2 2 F 1/00 (2006.01)	C 2 2 F 1/00	6 1 1

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-46346 (P2016-46346)
 (22) 出願日 平成28年3月9日 (2016.3.9)

(71) 出願人 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
 (72) 発明者 水谷 学
 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
 電気工業株式会社伊丹製作所内
 (72) 発明者 城野 百合
 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
 電気工業株式会社伊丹製作所内

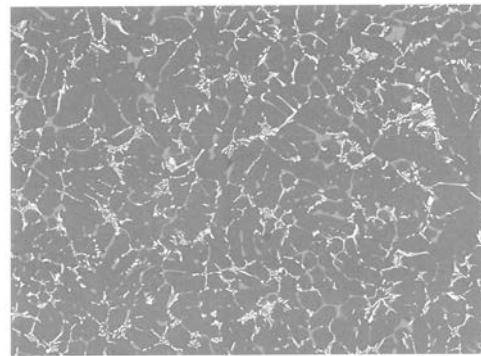
(54) 【発明の名称】 マグネシウム合金、及び鋳造部材

(57) 【要約】

【課題】耐熱性に優れる上に割れが生じ難いマグネシウム合金、及び鋳造部材を提供する。

【解決手段】質量%で、Alを1.0%以上3.0%以下、希土類元素を1.5%以上3.0%以下、Caを0.5%以上1.5%以下、Mnを0.1%以上0.5%以下含み、残部がMg及び不可避不純物であり、Alと、希土類元素及びCaの少なくとも一方の元素とを含む化合物が粒界に分散し、かつ断面におけるMgとAlとを含む化合物の面積割合が5%以下である組織を備えるマグネシウム合金。

【選択図】 図1



20 μm

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、

Al を 1.0% 以上 3.0% 以下、

希土類元素を 1.5% 以上 3.0% 以下、

Ca を 0.5% 以上 1.5% 以下、

Mn を 0.1% 以上 0.5% 以下含み、残部が Mg 及び不可避不純物であり、

Al と、希土類元素及び Ca の少なくとも一方の元素とを含む化合物が粒界に分散し、かつ断面における Mg と Al とを含む化合物の面積割合が 5% 以下である組織を備えるマグネシウム合金。

10

【請求項 2】

希土類元素と Ca との合計含有量に対する Al の含有量の質量比が 0.4 以上 1.5 以下である請求項 1 に記載のマグネシウム合金。

【請求項 3】

内部空間を形成する形状を有し、角部を備える鋳造部材であって、

請求項 1 又は請求項 2 に記載のマグネシウム合金から構成され、

前記角部と前記角部以外の部分では厚みが異なる鋳造部材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、各種の部品の素材などに利用されるマグネシウム合金、マグネシウム合金から構成され、各種の部品などに利用される鋳造部材に関するものである。

【背景技術】

【0002】

実用金属で最も比重が小さく、比強度、比剛性に優れるマグネシウム合金は、軽量素材として注目されている。特に、自動車等の輸送機器類では、CO₂ 排出量の削減や省エネルギーなどの環境問題に対応するために軽量化への要求が高まっており、従来汎用されているアルミニウム合金に代えて、マグネシウム合金の利用が期待される。

【0003】

マグネシウム合金からなる部品としては、鋳造法の一つであるダイカスト法によって製造されたダイカスト材が挙げられる（特許文献 1 の [0036]）。ダイカスト用マグネシウム合金は、JIS H 5303（2006 年）に規定される MDC1B（ASTM 規格の AZ91B 合金相当）、MDC1D（同 AZ91D 相当材）などが代表的である。特許文献 2 は、Zn, Al, Ca, 希土類元素（RE）を添加元素とするダイカスト用マグネシウム合金を開示する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2012 - 136727 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 129272 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

耐熱性に優れる上に、ダイカスト法などの金型鋳造法を利用する場合に鋳造部材に割れが生じ難いマグネシウム合金が望まれている。

【0006】

自動車部品や航空機部品などの部品では、使用環境温度が常温よりも高い場合がある。

例えば、エンジンルームの近くに配置される部品では、使用環境温度が 100 ~ 180

程度である場合があり、このような用途では耐熱性に優れることが望まれる。特に、これらの部品の使用状態が他の部品や設置対象にボルトなどによって締結された状態である

50

場合には、経時的な変形によって締結状態が緩み、締結力（残留軸力）が低下し難いこと、即ち高温耐クリープ性に優れることが望まれる。

【0007】

一方、ダイカスト材などの金型鑄造部材の合金評価を試験的に行う場合などでは、一般に、テストピースの形状を、全体に亘って均一な肉厚を有する、又は肉厚変動が実質的に無い板材、棒材、直方体状の箱材といった単純な形状にする。しかし、実際に鑄造しようとするダイカスト材の形状は、肉厚変動が大きかったり、肉厚変動量が異なる箇所を複数有していたりといった複雑な形状とすることが考えられる。例えば、リブを有する場合には、リブ近傍の肉厚変動が大きい。また、リブの厚さなどによって、肉厚変動量が異なる。本発明者らは、実製品により即した複雑な形状のマグネシウム合金のテストピースを作製した結果、従来マグネシウム合金ではダイカスト材に熱間割れなどの欠陥が生じ易いとの知見を得た。また、上記熱間割れは、ダイカスト材において、複数の面の継ぎ目である角部を有し、この角部とそれ以外の部分とで厚みが異なる場合にこの角部に生じ易い、との知見を得た。

10

【0008】

そこで、本発明の目的の一つは、耐熱性に優れる上に割れが生じ難いマグネシウム合金を提供することにある。本発明の別の目的は、マグネシウム合金から構成され、耐熱性に優れ、外観にも優れる鑄造部材を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様に係るマグネシウム合金は、質量%で、
Alを1.0%以上3.0%以下、
希土類元素を1.5%以上3.0%以下、
Caを0.5%以上1.5%以下、
Mnを0.1%以上0.5%以下含み、残部がMg及び不可避不純物であり、
Alと、希土類元素及びCaの少なくとも一方の元素とを含む化合物が粒界に分散し、かつ断面におけるMgとAlとを含む化合物の面積割合が5%以下である組織を備える。

20

【0010】

本発明の一態様に係る鑄造部材は、
内部空間を形成する形状を有し、角部を備える鑄造部材であって、
上記の本発明の一態様に係るマグネシウム合金から構成され、
前記角部と前記角部以外の部分では厚みが異なる。

30

【発明の効果】

【0011】

上記のマグネシウム合金は、耐熱性に優れる上に割れが生じ難い。

【0012】

上記の鑄造部材は、耐熱性に優れ、外観にも優れる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】試験例1で作製した試料No. 1-1の鑄造部材の断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した顕微鏡写真である。

40

【図2】試験例1で作製した試料No. 1-101の鑄造部材の断面をSEMで観察した顕微鏡写真である。

【図3】実施形態1の鑄造部材の概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明者らは、ダイカスト材などの金型鑄造部材を対象として耐熱性に優れるマグネシウム合金を検討した。その結果、耐クリープ性に優れるマグネシウム合金は、Al, 希土類元素（RE）, Ca, Mnを添加元素とし、Al, Caの含有量が比較的少なく、かつ

50

REを特定の範囲で含む組成であると共に、Alが、REを含む化合物やCaを含む化合物（以下、Al-RE化合物、Al-Ca化合物と呼ぶことがある）として結晶粒界に存在し、Mgを含む化合物（以下、Mg-Al化合物と呼ぶことがある）として存在する量が非常に少ない組織を有していた。また、この特定の組成及び特定の組織を有するマグネシウム合金は、鑄造部材本体におけるリブやボス、フランジなどの接続箇所にあたる角部、いわば角部以外の部分とは異なる厚さを有し、複数の面の接続部分である角部に熱間割れが生じ難いとの知見を得た。本発明は、上記の知見に基づくものである。

【0015】

最初に本発明の実施形態の内容を列記して説明する。

(1) 本発明の一態様に係るマグネシウム合金は、

質量%で、

Alを1.0%以上3.0%以下、

希土類元素を1.5%以上3.0%以下、

Caを0.5%以上1.5%以下、

Mnを0.1%以上0.5%以下含み、残部がMg及び不可避不純物であり、

Alと、希土類元素及びCaの少なくとも一方の元素とを含む化合物が粒界に分散し、かつ断面におけるMgとAlとを含む化合物の面積割合が5%以下である組織を備える。

【0016】

上記のマグネシウム合金は、Al、希土類元素(RE)、Ca、Mnを特定の範囲で含有する特定の組成であることを一つの理由として、結晶粒界に、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が分散して存在すると共に、Mg-Al化合物が非常に少ないという特定の組織を有する。粒界に存在するAl-RE化合物やAl-Ca化合物は、代表的にはMg-Al化合物よりも融点が高い。マグネシウム合金中のAlが、融点が高い化合物として存在し、融点より低い化合物が少ないため、上記のマグネシウム合金は使用環境温度が比較的高い部品、例えば100以上180以下程度である部品を構成する場合に、経時的に変形し難く、耐熱性、特に耐クリープ性に優れる。

【0017】

また、上記のマグネシウム合金は、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が適切に存在するため、割れの起点になり得る化合物が非常に少ないといえる。従って、上記のマグネシウム合金がダイカスト材などの鑄造部材を構成する場合、この鑄造部材は熱間割れなどの欠陥が実質的に無く、外観に優れる。この鑄造部材が上述の角部以外の部分とは異なる厚さを有する角部を備える場合でも、この角部に上記熱間割れなどの欠陥が実質的に無い（後述の試験例参照）。従って、上記のマグネシウム合金は、優れた外観を有するダイカスト材などの鑄造部材を製造でき、このような鑄造部材の製造に供する素材に好適に利用できる。

【0018】

(2) 上記のマグネシウム合金の一例として、希土類元素とCaとの合計含有量に対するAlの含有量の質量比が0.4以上1.5以下である形態が挙げられる。

【0019】

上記形態は、Alに対してRE及びCaを適切に含むため、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が粒界に分散して存在すると共に、AlがMg-Al化合物となって存在することを抑制でき、Mg-Al化合物が非常に少ない特定の組織をより確実に有することができる。従って、上記形態は、耐熱性に優れる上に、割れがより生じ難い。

【0020】

(3) 本発明の一態様に係る鑄造部材は、

内部空間を形成する形状を有し、角部を備える鑄造部材であって、

上記(1)又は上記(2)のマグネシウム合金から構成され、

前記角部と前記角部以外の部分では厚みが異なる。

【0021】

上記の鑄造部材は、上述の特定の組成及び組織を有するマグネシウム合金によって構成

10

20

30

40

50

されるため、耐熱性、特に耐クリープ性に優れる。また、上記の鑄造部材は、ダイカスト法などの金型鑄造法によって製造されたものである場合に、角部以外の部分とは異なる厚さの角部を備えるものの、この角部及び近傍に熱間割れなどの欠陥が実質的に無く、外観にも優れる。

【0022】

[本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の実施形態の形態に係るマグネシウム合金、鑄造部材を具体的に説明する。以下の説明において、元素の含有量の単位は、質量%とする。

【0023】

[マグネシウム合金]

(組成)

実施形態のマグネシウム合金は、Al, 希土類元素(RE), Ca, Mnを添加元素とし、Alを比較的少なく含有すると共に、このAlに対してRE及びCaの双方を特定の範囲で含有する。具体的な組成は、Alを1.0%以上3.0%以下、REを1.5%以上3.0%以下、Caを0.5%以上1.5%以下、Mnを0.1%以上0.5%以下含み、残部がMg及び不可避不純物である。上記の範囲のAlに対して、REとCaとを合計で2.0%以上含む。

【0024】

アルミニウム(Al)

Alは、REを含む化合物やCaを含む化合物を形成して合金組織中に存在することで、耐クリープ性を向上する機能を有する。この効果を良好に有するためにAlの含有量を1.0%以上とする。一方、従来の耐クリープ性に優れるマグネシウム合金では、Alの含有量を4質量%以上としている。Alの含有量がこのように多い場合、RE及びCaの含有量を適切な範囲としなければ、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が過剰に存在したり、 $Mg_{17}Al_{12}$ などのMg-Al化合物が形成されたりする。過剰なAl-RE化合物やAl-Ca化合物は、より複雑な形状のダイカスト材を製造する場合に熱間割れなどの欠陥の原因になり易い。比較的低融点であるMg-Al化合物は、耐熱性の低下を招く。そこで、実施形態のマグネシウム合金ではAlの含有量を3.0%以下とする。

【0025】

Alの含有量を更に1.5%以上、2.0%以上とすると、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が適切に存在して高い耐クリープ性を有することができる上に、強度の向上、耐食性の向上なども期待できる。Alの含有量を更に2.5%以下、2.0%以下とすると、Mg-Al化合物の含有量をより低減し易く、Mg-Al化合物の含有による耐クリープ性の低下を抑制し易い。

【0026】

希土類元素(RE)

REは、 Al_2RE 、 $Al_{11}RE_3$ などのAlを含む化合物(Al-RE化合物、代表的には晶出物)を形成して合金組織中に存在することで、耐クリープ性を向上する機能を有する。また、Al-RE化合物の形成によって、Mg-Al化合物の形成(析出)を抑制する機能も有する。上記の効果を良好に有するためにREの含有量を1.5%以上とする。REの含有量が多いほど、Al-RE化合物が十分に形成されて、粒界により多く存在して粒界すべりなどを抑制し易い。一方、REの含有量が多過ぎると、Al-RE化合物が過剰に存在して熱間割れなどの欠陥の原因になり易いため、実施形態のマグネシウム合金では、REの含有量を3.0%以下とする。

【0027】

REの含有量を更に2.0%以上、2.5%以上とすると、耐クリープ性の更なる向上が期待できる。REの含有量を更に2.5%以下、2.0%以下とすると、ダイカスト材などの鑄造部材における熱間割れなどの欠陥の更なる低減、抑制を期待できる。また、REの含有量を低減することで、コストの低減も期待できる。

希土類元素は、周期表3族の元素、即ちスカンジウム(Sc)、イットリウム(Y)、

10

20

30

40

50

ランタノイド、アクチノイド、その他、ミッシュメタルを含む。

【0028】

カルシウム (Ca)

Caは、 Al_2Ca 、 $(Al, Mg)_2Ca$ などのAlを含む化合物 (Al-Ca化合物、代表的には晶出物) を形成して合金組織中に存在することで、耐クリープ性を向上する機能を有する。また、Al-Ca化合物の形成によって、Mg-Al化合物の形成 (析出) を抑制する機能も有する。上記の効果を良好に有するためにCaの含有量を0.5%以上とする。Caの含有量が多いほど、Al-Ca化合物が十分に形成されて、粒界により多く存在して粒界すべりなどを抑制し易い。一方、Caの含有量が多過ぎると、Al-Ca化合物が過剰に存在して熱間割れなどの欠陥の原因になり易いため、実施形態のマグネシウム合金では、Caの含有量を1.5%以下とする。

10

【0029】

Caの含有量を更に1.0%以上とすると、耐クリープ性の更なる向上、その他難燃性の向上などが期待できる。Caの含有量を更に1.2%以下、1.0%以下とすると、ダイカスト材などの鑄造部材における熱間割れなどの欠陥の更なる低減、抑制を期待できる。

【0030】

マンガン (Mn)

Mnは、Alを含む化合物 (以下、Al-Mn化合物と呼ぶことがある) を形成することで、Mg-Al化合物の形成を抑制する機能を有する。また、Mnは、マグネシウム合金中に不純物として存在し得るFeを低減して、耐食性の向上にも寄与する。上記の効果を良好に有するためにMnの含有量を0.1%以上とする。Mnの含有量が多いほど、Mg-Al化合物の形成 (析出) の抑制、耐食性の向上に寄与する。上記の効果は、Mnの含有量が0.5%程度で飽和するため、実施形態のマグネシウム合金では、Mnの含有量を0.5%以下とする。Mnの含有量を更に0.2%以上0.4%以下とすることができる。

20

【0031】

$Al / (RE + Ca)$

RE及びCaの含有量が上述の範囲を満たすことに加えて、REとCaとの合計含有量に対するAlの含有量の質量比を $Al / (RE + Ca)$ とすると、 $Al / (RE + Ca)$ が特定の範囲を満たすことが好ましい。特に、 $Al / (RE + Ca)$ が0.4以上であるとAl-RE化合物、Al-Ca化合物が適切に存在すると共に、Mg-Al化合物の含有量を低減できて耐クリープ性に優れる。 $Al / (RE + Ca)$ が1.5以下であると、Al-RE化合物及びAl-Ca化合物が過剰に存在せず、ダイカスト材などの鑄造部材における熱間割れなどの欠陥を抑制し易い。 $Al / (RE + Ca)$ が更に0.5以上1.0以下であると、耐クリープ性により優れる上に上記欠陥をより抑制し易い。

30

【0032】

(組織)

実施形態のマグネシウム合金は、上述のAl-RE化合物及びAl-Ca化合物の少なくとも一方、代表的には両方が粒界に分散し、かつMg-Al化合物が少ない又は実質的に存在しない組織を備える (後述の図1参照)。Al-RE化合物の融点は1100以上であり、Al-Ca化合物の融点は1000以上であり、Mg-Al化合物の融点 (462) よりも十分に高い。このような高融点化合物であるAl-RE化合物やAl-Ca化合物が粒界に分散して存在し、低融点の化合物が少ないことで、高温に保持された場合でも粒界すべりなどを抑制し、クリープ変形し難くすることができると考えられる。

40

【0033】

Mg-Al化合物が少ない又は実質的に存在しない組織とは、定量的には、マグネシウム合金の断面におけるMg-Al化合物の面積割合が5%以下である組織とする。上記面積割合が少ないほど、耐熱性に優れる上に上記欠陥を抑制できるため、上記面積割合は4%以下、更に2%以下が好ましい。上記面積割合が0%、即ちMg-Al化合物が存在し

50

ないことが最も好ましい。上記面積割合の測定方法は後述する。

【0034】

上述の化合物の組成は、例えば、エネルギー分散X線分析法(EDX)や、オージェ電子分光法(AES)などによって成分分析を行うことで確認できる。

【0035】

(用途)

実施形態のマグネシウム合金は、ダイカスト材などの金型鑄造部材の製造に供する素材に好適に利用できる。この用途では、所望の大きさの直方体状の塊や、球体状などの塊とすることができる。また、実施形態のマグネシウム合金は、ダイカスト材などの金型鑄造部材自体を構成することができる(実施形態の鑄造部材に相当)。この用途では、後述するように種々の形状、大きさとすることができる。例えば、その全体が均一的な厚さの板材、その全体が均一的な太さの棒材、その全体が均一的な厚さの長方形の箱材や筒材などとすることができる。即ち、実施形態のマグネシウム合金は、中実体、箱材や筒材のような内部空間を形成すると共に一つの開口部又は連通する開口部を有する中空体のいずれも構成することができる。これら鑄造用素材も鑄造部材も上述の特定の組成及び特定の組織を備える。

10

【0036】

[鑄造部材]

(形状)

実施形態の鑄造部材1は、実施形態のマグネシウム合金から構成され、上述の特定の組成及び特定の組織を備える。この鑄造部材1は、上述のように熱間割れなどの起点となる化合物が少なく又は実質的に存在せず、割れなどの欠陥が生じ難い実施形態のマグネシウム合金で構成されるため、図3に示すように内部空間を形成する形状を有し、角部を備えるものであって、角部3と角部3以外の部分とでは厚みが異なるものとする事ができる。ここでの角部3とは、複数の面が交差する稜線部分である。例えば、図3に示すように内部空間を形成する容器状の本体10を備える場合、天面部や、開口縁がつくる仮想平面に直交する平面で切断した縦断面における隣り合う二つの面が交差する部分が角部3に相当する。角部3は、外方に突出するもの(例、後述の角部30など)、内側に窪んだもの(例、後述の角部31~36)のいずれでもよい。

20

【0037】

図3は、天面部と側壁部とを備え、一方が開口した容器状の本体10を備える鑄造部材1を模式的に示す。図3の右半分は本体10の天面部を上側に、開口部を下側に配置した状態の正面図、左半分はその断面図である。図3に示す鑄造部材1は、上述の割れなどの生じ易い複雑な形状の鑄造部材を概念的に示す。

30

【0038】

図1に示す鑄造部材1は、本体10の開口縁から外方に延設されるフランジ12と、本体10の内天面から開口側に向かって突出する少なくとも一つのボス13と、本体10の天面部から外方に突出する筒部15と、天面部の外面と筒部15の外面との交差部分に設けられる少なくとも一つのリブ14と、側壁部の内側に設けられた凹部16とを備える場合を例示する。フランジ12、ボス13、リブ14、筒部15、及び凹部16から選択される少なくとも一つを備えていれば、その他を省略することができる。また、外方に突出する筒部15に代えて、内部空間に突出する筒部を有することもできる。容器状に代えて、フランジ付きパイプなどとする事ができる。

40

【0039】

代表的には、フランジ12は、ボルト孔が設けられて、他の部品や設置対象にボルトによって締結される部分として機能する。フランジ12は、開口縁や側壁部の外周面に連続して設けられる環状の形態、開口縁や側壁部の外周面に沿って所定の間隔をあけて複数設けられる形態などが挙げられる。ボス13は天面部などに他の部品を固定や連結などするためにボルトやねじ用の雌ねじを形成したり、ピンなどを圧入する挿入孔などを形成したりするものであり、代表的には筒状である。リブ14は、貫通孔15hが設けられた筒部

50

15を補強するものであり、代表的には板状である。また、代表的には、筒部15の外周に放射状に複数のリブ14が設けられる。ボス13及びリブ14の個数、大きさ、形状などは適宜選択できる。これらの個数が多いほど角部3が多くなり、上述の割れなどが生じ易い複雑な形状といえる。

【0040】

鑄造部材1には、天面部の外面と側壁部の外面とが交差する外側の角部30、外側の角部30に対応する内側の角部31といった本体10自体に設けられる角部、本体10とフランジ12とが交差する角部32、本体10とボス13とが交差する角部33、本体10とリブ14とが交差する角部34、本体10と筒部15とが交差する角部35、凹部16を形成する内底面と内壁面とが交差する角部36などの複数の角部3が存在し得る。そして、この例の鑄造部材1では、各角部3とそれ以外の部分とは厚みが異なる。角部3の厚さ t とは、例えば、角部31に示すように上記縦断面において角部30をつくる天面部の外面と側面部の外面との角の二等分線上にとることが挙げられる。図1に示す例では、本体10の角部30、31やボス13近傍の角部33、リブ14近傍の角部34などでは、その周囲の厚さよりも厚く、凹部16における角部36ではその周囲の厚さよりも薄い。また、図1に示す例では、各角部3は実質的に直角である。このような各角部3は、厚さの変化(肉厚変動)、形状の変化が大きい箇所といえ、割れなどが生じ易い箇所と考えられる。定量的には、上記縦断面における隣り合う二つの面が交差する角部3における交差角度が 0° 超 120° 以下程度、特に直角及びその近傍であり、角部3における厚さの変化量(その周囲の厚さを基準としたときの変化量)が10%以上、更に25%以上、50%以上である箇所は、割れなどが生じ易い箇所と考えられる。実施形態のマグネシウム合金は、このような割れなどが生じ易い箇所を複数備える複雑な形状の鑄造部材1、特に上述の角部3を1個以上、更に5個以上備える鑄造部材1の製造に供する素材、又は鑄造部材1自体の構成材料に好適である。

10

20

【0041】

(大きさ)

実施形態の鑄造部材1は、その全体の厚さが均一的ではなく、上述のように部分的に異なる。各部の厚さは適宜選択できる。例えば、最小厚さは $0.5\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$ 程度、最大厚さは $8\text{ mm} \sim 15\text{ mm}$ 程度が挙げられる。内部空間を形成する容器状などの形状である場合には、その容積は適宜選択できる。例えば、容積は 1000 cm^3 以上、更に 10000 cm^3 以上程度が挙げられる。上述の最小厚さ、最大厚さ、及び容積を満たす鑄造部材は、割れなどが生じ易いと考えられるため、上述した実施形態のマグネシウム合金を好適に利用できる。

30

【0042】

(マグネシウム合金の製造方法)

実施形態のマグネシウム合金は、代表的には、上述した特定の組成のマグネシウム合金溶湯を作製し、鑄造することで製造できる。実施形態の鑄造部材1は、作製した溶湯を用いて、ダイカスト法などの金型鑄造法によって鑄造することで製造できる。成形型には、所望の形状のものが利用できる。

40

【0043】

マグネシウム合金溶湯は、以下のように作製することが挙げられる。原料には純度(質量割合、以下純度について同様)が99%以上、好ましくは99.5%以上の純マグネシウムの塊、各添加元素金属の塊又は添加元素を合金化した塊を用いる。

【0044】

用意した原料塊を用いて、まず純マグネシウムを完全に溶解して、純マグネシウム溶湯を作製する。雰囲気ガスは、アルゴン(Ar)ガスなどの希ガス、窒素ガス、 CO_2 ガスといった不活性ガスであると、Mgなどの酸化を防止できて好ましい。また、雰囲気ガスは、 SF_6 などの防燃ガスを含むと、発火を防止できて好ましい。

【0045】

純マグネシウム溶湯にAl, RE, Caの順で添加元素を添加する。また、添加する際

50

の純マグネシウム溶湯の温度を650以上730以下とする。添加後、十分に攪拌する。実施形態のマグネシウム合金は、Al, RE, Caを主として化合物とし、かつ粒界に均一的に分散させて存在させる。このように添加順序、温度、攪拌を特定のものとするマグネシウム合金の製造方法は、純マグネシウム溶湯内に添加元素が均一的に溶解して特定の組成のマグネシウム合金溶湯を精度よく製造でき、工業的な量産に適する方法の一例として好ましいと考えられる。

【0046】

Alを最初に添加することでMgの活性度を低下できる。REは、純マグネシウムに完全に溶解するまでの時間が他の元素に比較して長くなり易いため、早めに添加する。Caは、純マグネシウムに溶解し易いため、最後に添加する。REとCaとを同時に添加せず、分けて添加することで、両元素を確実に溶解できる。Mnは、溶解時間が比較的に長い

10

【0047】

各添加元素を添加するときの純マグネシウム溶湯の温度を650以上とすることで、各添加元素を完全に溶解できる。上記温度が高いほど、添加元素の未溶解を防止できると共に、溶解時間を短縮できるため、上記温度を660以上、更に680以上、690以上とすることができる。純マグネシウム溶湯の温度を730以下とすることで、マグネシウムの酸化を抑制し易い上に、鉄製の坩堝を用いる場合にFeの溶出に起因するFeの混入を防止し易いため、上記温度を720以下、更に700以下とすることができる。

20

【0048】

攪拌は、棒状の治具や市販の攪拌機などを用いて機械的に行う。攪拌時間は、攪拌方法や溶湯量などにもよるが、例えば5分以上15分以下程度とすると均一的な成分の溶湯が得られる。攪拌後、例えば10分以上15分以下程度静置することで溶湯の介在物を分離し、その後直ちに鑄造することで添加元素の分離（沈殿又は浮遊）を防止でき、Al-RE化合物、Al-Ca化合物を適切に晶出できる。鑄造工程の冷却速度は0.1/秒以上、更に10/秒以上、50/秒以上とすると、Al-RE化合物、Al-Ca化合物を適切に晶出できる。上記冷却速度となるように冷却条件を調整するとよい。

【0049】

[試験例1]

表1に示す種々の組成（質量%、残部Mg及び不可避不純物）のマグネシウム合金を用いてダイカスト材を作製し、得られたダイカスト材の組織観察を行うと共に、耐熱性及び割れの状態を評価した。

30

【0050】

原料として、純度99.9%の純マグネシウムの塊を50kg用意し、Ar雰囲気

1. 純度99.9%の純アルミニウム塊及び純度99.9%の純マンガ

40

2. 純度99.9%のミッシュメタル塊

ミッシュメタルの含有元素及びその含有量は、Laが28%、Ceが51%、Ndが16%、Prが5%である。

3. 純度99.5%のCa塊

【0051】

作製した各試料のマグネシウム合金溶湯を用いて、コールドチャンバーダイカストマシン（宇部興産機械株式会社製、型番UB530iS2）でダイカスト材を作製した。この試験では、図3に示す容器状の本体と、本体の開口側に設けられ、ボルト孔を有する環状のフランジと、本体の内部に設けられた5個以上のボスと、本体の天面部から外方に突出する筒部と、本体と筒部との交差部分に放射状に離間して設けられた15個以上のリブと

50

を備えるものを作製した。本体に対してフランジ、ボス、筒部、リブは実質的に直交するように設けられている。また、本体とフランジとが交差する角部、本体とボスとが交差する角部、本体と筒部とが交差する角部、本体とリブとが交差する角部はいずれも、その周囲の厚さと異なる厚さを有する（厚い又は薄い）。本体における角部を除く箇所の平均厚さは4 mm、上記角部における厚さの変化量（上記平均厚さ4 mmに対する変化量）の最大値は500%（最大厚さ20 mm）である。作製した鋳造部材のサイズは、幅200 mm × 奥行150 mm × 最大高さ150 mm（筒部を含む）程度であり、使用するマグネシウム合金の体積は450 cm³ ~ 500 cm³程度である。鋳造過程の冷却速度は、50 / 秒以上とした。

【0052】

作製した各試料のダイカスト材について断面をとり、走査型電子顕微鏡（SEM）で組織観察を行った。断面の採取は、市販のクロスセクションポリッシャ（CP）加工装置を用いて行った。CP断面について任意に観察視野をとる。図1は試料No. 1-1の顕微鏡写真、図2は試料No. 1-101の顕微鏡写真である。

10

【0053】

図1において、濃い灰色で示される部分はマグネシウム合金の母相、薄い灰色で示される部分は、Al₂Ca、(Al, Mg)₂CaなどのAl-Ca化合物、白色で示される部分は、Al₂RE、Al₁₁RE₃などのAl-RE化合物である。図2において、濃い灰色で示される部分はマグネシウム合金の母相、薄い灰色や白色で示される部分は、Al₂RE、Al₁₁RE₃などのAl-RE化合物がラメラ状に晶出している領域であり、薄い灰色部分は微細に晶出している領域、白色部分（大きな粒を含む）は薄い灰色部分に比較して粗大に晶出している領域である。

20

【0054】

Al, RE, Ca, Mnを特定の範囲で含む試料No. 1-1は、図1に示すように、Al-RE化合物及びAl-Ca化合物が結晶粒界に分散して存在することが分かる。また、試料No. 1-1は、Mg-Al化合物が確認できず、実質的に存在しない。試料No. 1-2 ~ No. 1-5も試料No. 1-1と概ね同様な組織を有する。

【0055】

これに対し、図2に示すように、Al及びREを多く含む試料No. 1-101は、Al-RE化合物が非常に多い上に粗大なAl-RE化合物が存在することが分かる。

30

【0056】

上述の顕微鏡写真を用いて、観察視野Sf（350 μm × 250 μm）中に存在するMg-Al化合物（主としてMg₁₇Al₁₂）を抽出してその断面積を求め、更にその合計断面積Smを求める。そして、(Sm / Sf) × 100%をその断面におけるMg-Al化合物の面積割合として求め、10個の観察視野における面積割合の平均を各試料の面積割合(%)として表1に示す。Mg-Al化合物の断面積は、画像処理装置によって顕微鏡写真（SEM像）を二値化処理した二値化像などを利用すると容易に測定できる。

【0057】

作製した各試料のダイカスト材について亀裂数を調べて、割れの状態を評価した。ここでは、各試料について10個のダイカスト材を用意し、目視確認によってそれぞれの亀裂数を調べ、10個のダイカスト材における亀裂数の平均を各試料の亀裂発生頻度(個)として表1に示す。

40

【0058】

作製した各試料のダイカスト材について、以下のようにして耐熱性を評価した。ここでは、アルミニウム製のブロック材の適宜な位置にボルト孔を設け、ブロック材におけるボルト孔を備える取付面と、各試料のダイカスト材に備えるフランジの締付座面とを合わせて、両者のボルト孔に鉄製のボルトを配置し、このボルトによって各試料のダイカスト材と上記ブロック材とを締結した試験部材を作製した。この試験部材を150 で170時間保持した後、ボルトの締結力（残留軸力）を調べた。残留軸力は、ボルトに市販の歪ゲージを配置し、締結直後であって150 に加熱する前の歪量S₀（ここでは初期締付軸

50

力を9Nとして締め付けた際の歪量)、150 × 170時間の熱履歴を与えた後の歪量 S_t とを調べ、 $[(S_t - S_0) / S_0] \times 100$ (%) を残留軸力 (%) として表1に示す。

【0059】

【表1】

試料 No.	組成 (質量%)					Mg-Al 面積割合 (%)	残留 軸力 (%)	亀裂発生 頻度 (個)	総合 評価
	Al	RE	Ca	Mn	Al/ (RE+Ca)				
1-1	2	2	1	0.3	0.67	0	69	0	A
1-2	3	3	1.5	0.3	0.67	0	69	0	A
1-3	3	2	0.5	0.3	1.2	2	65	0	A
1-4	3	2	1	0.3	1	0	65	0	A
1-5	3	1.5	0.5	0.2	1.5	4	64	0	A
1-101	4	4	0	0.2	1	0	61	1	B
1-102	5	2	2	0.2	1.25	2	64	9	C
1-103	4	1.5	0.5	0.2	2	12	58	3	C
1-104	2	0.9	0.3	0.3	1.67	6	60	5	B
1-105	1	1	2	0.2	0.33	0	66	15	C

10

【0060】

20

表1に示すように、Al, RE, Ca, Mnを特定の範囲で含み、かつAl-RE化合物やAl-Ca化合物が粒界に分散して存在すると共にMg-Al化合物が非常に少ない又は実質的に存在しない組織を有する試料No. 1-1~1-5は、残留軸力が高く耐熱性(特に耐クリープ性)に優れる上に、亀裂発生頻度が極めて低く、ダイカスト材に割れが生じ難いことが分かる。定量的には、残留軸力が64%以上であり、65%以上の試料が多い。また、Mg-Al化合物の面積割合が5%以下、ここでは更に4%以下であり、0%である試料もある。試料No. 1-3~No. 1-5を比較すると、RE+Caの合計質量に対するAlの含有量が少ないほど(質量比Al/(RE+Ca)が小さいほど)、Mg-Al化合物が形成され難いといえる。また、ここでは試料No. 1-1~1-5の亀裂発生頻度が0個であり、亀裂が生じていない。

30

【0061】

一方、上述の特定の組成及び特定の組織を有していない試料No. 1-101~No. 1-105はいずれも、亀裂発生頻度が1個以上であり亀裂が生じている。この亀裂はいずれも上述の角部に生じていた。このことから、周囲の厚さと異なる厚さの角部は、割れが生じ易い箇所であるといえる。Al及びCaの双方が多い試料No. 1-102、Caが多い試料No. 1-105は、亀裂発生頻度がとりわけ大きく、割れがより生じ易いといえる。Al及びREの双方を多く含み、Caを含まない試料No. 1-101、Alを4質量%以上多く含む試料No. 1-103、RE及びCaの双方が少ない試料No. 1-104は、残留軸力が低く耐熱性に劣る。

40

【0062】

詳しくは、試料No. 1-101は、Al及びREの双方が多く、Al-RE化合物が優先的に形成されて、Mg-Al化合物を形成し難かったと考えられる。しかし、Al-RE化合物が過剰に存在することで、亀裂が生じ易くなったと考えられる。また、Caを含有しないことで、残留軸力が低くなったと考えられる。

試料No. 1-102、No. 1-105は、Caが多いことでAl-Ca化合物が多く存在して残留軸力が高くなったと考えられる。しかし、Al-Ca化合物が過剰に存在して、亀裂が非常に生じ易くなったと考えられる。

試料No. 1-103、No. 1-104は、RE及びCaに対してAlが多いため、低融点であるMg-Al化合物が多く存在することで、クリープ変形し易くなって残留軸力が低くなったと考えられる。特に、No. 1-103はAlが4質量%以上と多く、M

50

g - Al化合物がより多く存在するため、残留軸力が大幅に低くなったと考えられる。

【0063】

以上のことから、耐熱性に優れ、ダイカスト材などの鑄造部材の製造に適したマグネシウム合金は、Al, RE, Ca, Mnを特定の範囲で含み、Al-RE化合物やAl-Ca化合物が粒界に分散して存在し、かつMg-Al化合物が非常に少ない又は実質的に存在しない組織を有することが好ましいことが示された。

【0064】

本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許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、組成（添加元素の含有量）、鑄造部材の形状や大きさ（厚さ、容積など）、製造条件（湯温、攪拌条件など）などを適宜変更できる。

【産業上の利用可能性】

【0065】

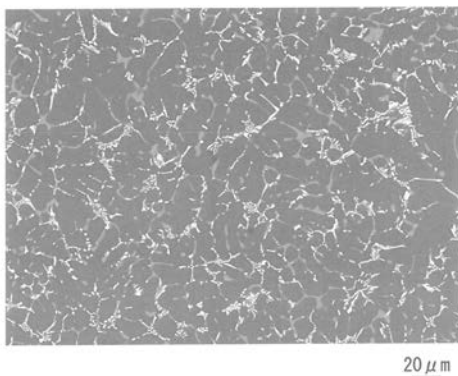
本発明のマグネシウム合金は、ダイカスト材などの金型鑄造部材の素材に好適に利用できる。本発明の鑄造部材は、種々の部品、特に軽量であることが望まれる部品に利用できる。このような部品として、例えば、自動車や航空機などの輸送機器類、各種の電子・電気機器類（パーソナルコンピュータ（PC）、タブレット型PC、スマートフォンや折り畳み式携帯電話などの携帯電話、デジタルカメラなど）の筐体やカバーなどの外装部材、補強部材、骨格部材などが挙げられる。

【符号の説明】

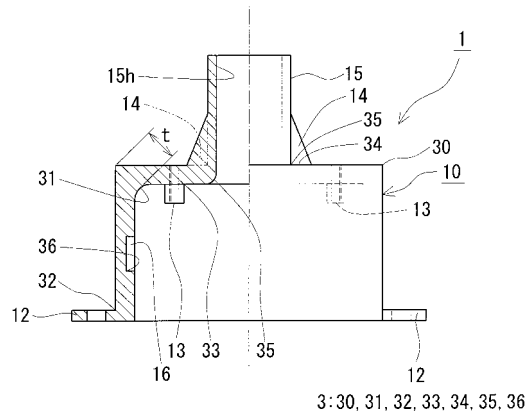
【0066】

- 1 鑄造部材 10 本体
- 12 フランジ 13 ボス 14 リブ 15 筒部 16 凹部
- 3, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 角部 15h 貫通孔

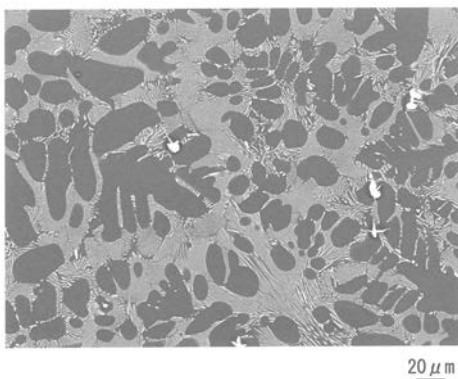
【図1】



【図3】



【図2】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)
C 2 2 F	1/06	(2006.01)	C 2 2 F	1/00	6 5 0 A	
B 2 2 D	27/04	(2006.01)	C 2 2 F	1/00	6 5 1 Z	
			C 2 2 F	1/00	6 8 1	
			C 2 2 F	1/06		
			C 2 2 F	1/00	6 0 1	
			B 2 2 D	27/04		F