

(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2004-238676

(P2004-238676A)

(43) 公開日 平成16年8月26日(2004.8.26)

(51) Int.Cl.⁷

C22C 23/02

F I

C22C 23/02

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-28796 (P2003-28796)
(22) 出願日 平成15年2月5日(2003.2.5)

(71) 出願人 503050401
デッド シー マグネシウム エルティ
ディー
DEAD SEA MAGNESIUM
LTD.
イスラエル 841111 ペールーシェバ
ビー オー ビー 1195
P. O. B. 1195, 841111 B
eer-Sheva, Israel.
(71) 出願人 501358105
フォルクスワーゲン・アクチェンゲゼル
シャフト
ドイツ連邦共和国、デー ー 38436
ボルフスブルク (番地なし)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マグネシウム合金

(57) 【要約】

【課題】例えば、175℃～200℃という高温においても、高強度で、かつ、耐クリープ性に優れたマグネシウム合金を提供する。

【解決手段】少なくとも85.4重量%のマグネシウム、4.7～7.3重量%のアルミニウム、0.17～0.60重量%のマンガン、0.0～0.8重量%の亜鉛、1.8～3.2重量%のカルシウム、0.3～2.2重量%の錫、0.0～0.5重量%のストロンチウムを含むマグネシウム合金。本発明のマグネシウム合金は0.004重量%以下の鉄、0.001重量%以下のニッケル、0.003重量%以下の銅、或いは0.03重量%以下のケイ素を含んでも良い。更に、本発明のマグネシウム合金は0.001重量%以下のベリリウムを含んでも良い。

【選択図】 図5

表5. 機械的性質とクリープ特性

合金	引張強さ (TYS)		最大引張強さ (UTS)		0.2% 引張伸び (EL)		圧縮強度 (CRS)		最小クリープ速度 (CR)		平均腐食率 (CR)
	20℃	175℃	20℃	175℃	20℃	175℃	20℃	175℃	150℃	200℃	
例1	175	160	227	222	5	172	155	143	1.30	1.96	1.52
例2	172	158	225	221	5	175	159	146	1.25	1.85	1.50
例3	182	165	237	231	4	183	165	155	0.84	1.05	1.58
例4	170	161	236	236	6	171	160	143	1.05	1.40	1.48
例5	180	168	235	235	4	179	168	153	0.80	1.05	1.56
例6	179	165	240	240	5	179	164	147	1.44	2.54	1.38
例7	178	163	238	238	5	176	163	146	1.39	2.44	1.45
例8	188	170	235	235	5	186	169	155	1.05	1.95	1.37
例9	166	172	232	232	4	166	172	157	0.95	1.88	1.49
例10	179	162	250	250	5	180	160	146	1.65	4.50	1.54
例11	180	160	248	248	5	179	160	142	1.64	4.80	1.32
例12	183	165	245	245	4	185	163	144	1.59	4.55	1.45
例13	186	170	258	258	3	192	170	157	1.55	2.25	1.47
例14	195	174	260	264	3	193	173	161	1.31	2.40	1.32
比較例1	160	88	75	260	6	158	86	75	1456	2890	1.31
比較例2	185	88	85	240	12	168	90	88	764	483	1.32
比較例3	180	148	138	235	3	158	147	138	1.82	4.72	1.55
比較例4	170	160	220	220	3	178	161	144	1.44	1.47	1.37
比較例5	195	168	230	230	1	192	165	130	1.78	5.6	1.35

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マグネシウム合金であって、

- 1) 少なくとも 85.4 重量%のマグネシウム、
- 2) 4.7～7.3 重量%のアルミニウム、
- 3) 0.17～0.60 重量%のマンガン、
- 4) 0.0～0.8 重量%の亜鉛、
- 5) 1.8～3.2 重量%のカルシウム、
- 6) 0.3～2.2 重量%の錫、
- 7) 0.0～0.5 重量%のストロンチウム

を含むことを特徴とするマグネシウム合金。

10

【請求項 2】

上記マグネシウム合金は、0.004 重量%までの鉄と、0.001 重量%までのニッケルと、0.003 重量%までの銅と、0.03 重量%までのケイ素との、少なくともいずれかを含むことを特徴とする請求項 1 記載のマグネシウム合金。

【請求項 3】

上記マグネシウム合金は、0.001 重量%までのベリリウムを含むことを特徴とする請求項 1 または 2 記載のマグネシウム合金。

【請求項 4】

上記マグネシウム合金は、更に付随的不純物 (i n c i d e n t a l i m p u r i t i e s) を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

20

【請求項 5】

上記マグネシウム合金は、5.9～7.2 重量%のアルミニウム、0.9～2.1 重量%の錫、2.1～3.1 重量%のカルシウム、0.2～0.35 重量%のマンガンを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 6】

上記マグネシウム合金は、母相 (m a t r i x) として Mg-Al 固溶体 (s o l i d s o l u t i o n) と Mg-Al-Sn 固溶体 (s o l i d s o l u t i o n) との少なくともいずれかと、

Al_2Ca , $Al_2(Ca, Sr)$, Al_xMn_y , $Al_2(Ca, Sn)$, $Al_2(Ca, Sn, Sr)$ のうち少なくともいずれかの金属間化合物とを持ち、

30

前記金属間化合物は、

前記 Mg-Al 固溶体 (s o l i d s o l u t i o n) と Mg-Al-Sn 固溶体 (s o l i d s o l u t i o n) との少なくともいずれかの母相 (m a t r i x) の結晶粒界に位置すること特徴とする請求項 1 記載のマグネシウム合金。

【請求項 7】

上記マグネシウム合金は、常温 (a m b i e n t t e m p e r a t u r e) においても 200℃までの高温においても高い引張降伏強度 (t e n s i l e y i e l d s t r e n g t h : T Y S) と高い圧縮降伏強度 (c o m p r e s s i v e y i e l d s t r e n g t h : C Y S) とを持つことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

40

【請求項 8】

上記マグネシウム合金は、常温 (a m b i e n t t e m p e r a t u r e) においても 200℃までの高温においても高い耐クリープ特性を持つことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 9】

上記マグネシウム合金は、250℃でのエージング (a g e i n g) において顕著な反応 (m a r k e d r e s p o n s e) を示し、引張降伏強度 (t e n s i l e y i e l d s t r e n g t h : T Y S) と圧縮降伏強度 (c o m p r e s s i v e y i e l d s t r e n g t h : C Y S) と耐クリープ性とが向上することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

50

至 8 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 10】

上記マグネシウム合金は、ベリリウムを含まないことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 11】

上記マグネシウム合金は、常温 (ambient temperature) において 170MPa より高い引張降伏強度 (tensile yield strength: TYS) を示し、175℃において150MPa より高い引張降伏強度 (tensile yield strength: TYS) を示すことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

10

【請求項 12】

上記マグネシウム合金は、100MPa の応力下、150℃で 1.7×10^{-9} /秒未満の最小クリープ速度 (minimum creep rate) を示すことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 13】

上記マグネシウム合金は、55MPa の応力下、200℃で 4.9×10^{-9} /秒未満の最小クリープ速度 (minimum creep rate) を示すことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

【請求項 14】

上記マグネシウム合金は、1時間250℃のエージング (ageing) により強度を増すことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のマグネシウム合金。

20

【請求項 15】

請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載のマグネシウム合金の鋳造物であることを特徴とする物品 (article)。

【請求項 16】

上記物品は、高圧ダイキャスト (high-pressure die casting)、砂型鋳造 (sand casting)、永久鋳型鋳造 (permanent mold casting)、高圧鋳造 (squeeze casting)、半凝固成形 (semi-solid casting)、チクソ成形 (thixocasting)、チクソモールドイング (thixomolding) のいずれかによる鋳造物であることを特徴とする請求項 15 記載の物品。

30

【請求項 17】

上記物品は、引張降伏強度 (tensile yield strength: TYS) が常温 (ambient temperature) で170MPa より高く、175℃で150MPa より高いことを特徴とする請求項 15 記載の物品。

【請求項 18】

上記物品は、100MPa の応力下で150℃において最小クリープ速度 (minimum creep rate) が 1.7×10^{-9} /秒未満であることを特徴とする請求項 15 記載の物品。

【請求項 19】

上記物品は、55MPa の応力下で200℃において最小クリープ速度 (minimum creep rate) が 4.9×10^{-9} /秒未満であることを特徴とする請求項 15 記載の物品。

40

【請求項 20】

上記物品は、250℃で1時間の温度エージング (temperature ageing) を受けたことを特徴とする請求項 15 記載の物品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、優れた耐クリープ性を有する、高強度の、マグネシウムを主とした合金に関する

50

る。本発明のマグネシウム合金は、高温下における使用に優れ、例えば175～200℃（「～」の温度範囲の表記は、両端の温度を含む175℃以上200℃以下を意味する。以下同じ。）であっても使用に適するものである。

【0002】

【従来の技術】

同じ体積のアルミニウムより1/3軽いマグネシウム合金は、自動車産業においては最も軽量の構造材料である。車両の重さと燃費は、自動車産業において次第に重要度を増してきている。欧州及び北米の自動車メーカーは、25%の燃料消費削減及びそれによる30%のCO₂排出削減を2010年までに達成しようとしている。燃費削減を考える上で、マグネシウム合金は依然魅力的な資材である。

10

【0003】

多くの動力伝達部品（drive train components）は、高圧ダイキャスト（high-pressure die casting）によって製造される。高圧ダイキャストによって、恐らく最大量のマグネシウム合金が製造されており、将来においても高圧ダイキャストはマグネシウム合金の製造に多く用いられるであろう。

一方、砂型鑄造（sand casting）や永久鑄型鑄造（permanent mold casting）、高圧鑄造（squeeze casting）、半凝固成形（semi-solid casting）、チクソ成形（thixocasting）やチクソモールドイング（thixomolding）といった他の技術も、マグネシウム合金の製造に用いられている。

20

【0004】

合金の価格は、全部品コストの大きな割合を占め、新しい合金の開発において重要な因子となってきた。自動車部品の為の理想的マグネシウム合金は、費用効果が高いことの他に、キャストイング過程で、また、継続的に加えられる応力下での使用の過程で、その動作に関係するいくつかの条件を満たさなければならない。

良い鑄造性（castability）とは、溶融合金の薄い鑄型部への流れの良さ、溶融合金の鑄型へのくっ付き難さ、キャストイング過程での耐酸化性がある。良い合金はキャストイングの冷却固化工程で亀裂を生じない。

合金の鑄造物である部品は、高い引張及び圧縮降伏強度を持ち、使用において高温での応力下で連続ひずみ（continued strain）が小さくなければならない（耐クリープ性）。

30

合金の鑄造物である部品が、クランクケースのギアボックスの部品であれば、120℃以上の高温においても優れた機械的特質を維持しなければならない。しかし、エンジンプロック、オイルパン、インテーク・マニホールド（intake manifold）、下部クランクケース、オイルポンプ・ハウジングなどの動力伝達部品は、さらに高い温度に耐えなければならない。耐クリープ性及び応力緩和特性の改善は、こうした部品の製造に供する合金として重要な問題である。

また、合金は、耐食性も備える必要がある。

合金の物理的・化学的特性は、実質的に、種々の金属間化合物を形成するほかの金属元素の存在によって異なる。こうした金属間化合物（intermetallic compounds）は高温時の応力下で結晶粒がすべること（grain sliding）を妨げる。

40

【0005】

合金（metallic mixture）の安定性を高める為の技術において、公知の手順のひとつにエージング（ageing）と呼ぶ一種の熱処理があり、これは金属の微細組織に影響を与える。しかし、現存する商用ダイキャストマグネシウム合金はエージング（ageing）に対し際立った反応を示さない。

【0006】

従来のダイキャストマグネシウム合金は、すべてMg-Al系によるものである。Mg-Al-Zn系（市場で入手可能な合金としてはAZ91D等）やMg-Al-Mn系の合

50

金は、鑄造性、耐食性に優れ、全体の強度と可塑性 (ambient strength and ductility) にすぐれている。しかし、耐クリープ性と、高温下での強度とが劣る。

一方、Mg-Al-Si 合金及び Mg-Al-RE 合金 (RE は希土類元素を示す。以下同じ) は、耐クリープ性に優れているものの、耐食性は不十分であり (AS41 合金及び AS21 合金)、鑄造性も劣る (AS21 合金及び AE42 合金)。

どちらのタイプの合金も常温 (ambient temperature) での引張降伏強度 (tensile yield strength) が比較的低い。

さらに、RE 元素 (希土類元素) の含有量が高いと、例えば AE42 では 2.4%、コストが増す。

10

【0007】

マグネシウム合金に他の合金元素を導入することで、上記のうちいくつかの欠点は克服できる。

ドイツ特許出願第 847, 992 号 (特許文献 1) は、マグネシウム合金について記載している。このマグネシウム合金は、3 重量%までのカルシウムを含み、30 MPa の応力負荷のもと、200℃で 50 時間の条件において、0.2%未満のクリープひずみ (creep strain) を示している。

イギリス特許出願公開第 2, 296, 256 号 (特許文献 2) は、2 重量%までの RE 及び 5.5 重量%までの Ca を含むマグネシウム合金を開示しており、50 時間当たり 0.01% のクリープ速度 (creep rate) を示している。

20

国際特許出願公開 WO9625529 号 (特許文献 3) は、マグネシウム合金について開示している。このマグネシウム合金は、0.8 重量%までのカルシウムを含み、35 MPa の応力負荷のもと、150℃で 200 時間の条件の下において、0.5%未満のクリープひずみを示している。

欧州特許出願公開第 799901 号 (特許文献 4) は、4 重量%までのカルシウム及び 0.15 重量%までのストロンチウムを含む半凝固成形用のマグネシウム合金を記載しており、その Ca/Al 比は 0.8 未満である。

欧州特許出願公開第 791662 号 (特許文献 5) は、3 重量%までの Ca 及び 3 重量%までの RE を含むマグネシウム合金を開示しており、該合金は元素のある特定の比率に対してのみダイキャスト可能であり、高温時における強度を特徴とする。

30

欧州特許出願公開第 1048743 号 (特許文献 6) は、3.3%までの Ca 及び 0.2%までの Sr を含む鑄造の為のマグネシウム合金の製造方法を教示し、150~175℃での耐クリープ性を改良している。

国際特許出願公開 WO01/44529 号 (特許文献 7) は、7%までのストロンチウムを含むダイキャスト用のマグネシウム合金を記載している。このマグネシウム合金は、150℃で 0.06% のクリープ歪みを伴う。

米国特許第 6, 139, 651 号 (特許文献 8) は 1.2 重量%までの Ca、0.2 重量%までの Sr、1 重量%までの RE、0.0015 重量%までのベリリウムを含み、一方、Zn の含有率は 0.01~1 重量% 或いは 5~10 重量% であるマグネシウム合金を開示している。この合金は、優れた鑄造性、耐食性、機械的特性を持ち、150℃までの動作温度での使用に適するものである。

40

しかしながら、150℃を超える温度で動作するクランクケース及びエンジブロックでマグネシウムを使用するには、さらに合金の抵抗性を増す必要がある。

【0008】

【特許文献 1】

ドイツ特許出願第 847, 992 号

【特許文献 2】

イギリス特許出願公開第 2, 296, 256 号

【特許文献 3】

国際特許出願公開 WO9625529 号

50

【特許文献4】

欧州特許出願公開第799901号

【特許文献5】

欧州特許出願公開第791662号

【特許文献6】

欧州特許出願公開第1048743号

【特許文献7】

国際特許出願公開WO01/44529号

【特許文献8】

米国特許第6,139,651号

【特許文献9】

欧州特許出願公開第1,127,950

【特許文献10】

欧州特許出願公開第1,108,799

【特許文献11】

イギリス特許出願公開第569,102

【非特許文献1】

ハワード アイ カプラン、ジョン エヌ ハリン、バイロン ビークロウ：“マグネシウムテクノロジー 2000、プロシーディングズ オブ ザ シンポジウム” 2000年 3月、pp. 279-284 (Howard I. Kaplan, John N. Hryn & Byron B. Clow: "Magnesium Technology 2000, Proceedings of the symposium" March 2000, pp. 279-284)

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、175～200℃といった高温での使用に耐えるマグネシウム合金を提供することである。本発明は、175～200℃の高温での耐クリープ性を改良しつつ、常温(ambient temperature)時及び高温時の強度を改良した合金を提供することを目的としている。

【0010】

また本発明の別の目的は、特に高圧ダイキャスト工程によく適応し、鋳型にくっ付き難く、酸化し難く、高温割れをおこしにくく、かつ流動性に優れた合金を提供することである。

【0011】

また本発明の別の目的は、耐食性に優れ、高温時の使用に適したマグネシウム合金を提供することである。

【0012】

さらに本発明の別の目的は、砂型鋳造、永久鋳型鋳造、高圧鋳造、半凝固成形、チクソ成形、チクソモルディングといった他の工法にも使用できる合金を提供することである。

【0013】

さらに本発明の別の目的は、ベリリウムを使用せず鋳造できる合金を提供することである。

【0014】

本発明はエージング(aging)の過程で強度が改善する合金を提供することをも目的としている。

【0015】

本発明の目的は、さらに上述した動作と特性を持つ比較的安価な合金を提供することである。

【0016】

そのほかの本発明の目的や利点は後述によって明らかとなる。

10

20

30

40

50

【0017】

【課題を解決するための手段】

本発明は優れた耐クリープ性を持ち、175～200℃といった高温での使用に適した強度の高いマグネシウム合金に関するものである。本発明の合金は铸造性に優れ、耐食性に優れている。

上記マグネシウム合金は、アルミニウム、マンガン、亜鉛、カルシウム、錫、ストロンチウム、ベリリウムから成る。

本発明の合金は、少なくとも85.4重量%のマグネシウム、4.5～7.5重量%（「～」の含有量の表記は、両端の数値を含む4.5重量%以上7.5重量%以下を意味する。以下同じ。）のアルミニウム、0.17～0.6重量%のマンガン、0.0～0.8重量%の亜鉛、1.8～3.2重量%のカルシウム、0.3～2.2重量%の錫、0.0～0.5重量%のストロンチウム、0.000～0.001重量%のベリリウムを含む。合金中の鉄、ニッケル、銅及びケイ素の含有量はそれぞれ、0.004重量%、0.001重量%、0.003重量%、0.03重量%を超えない。

【0018】

本発明の合金の微細組織は、母相（matrix）としてMg-Al固溶体（solid solution）またはMg-Al-Sn固溶体（solid solution）と、Mg-AlまたはMg-Al-Sn母相（matrix）の結晶粒界に析出した金属間相（intermetallic phases）とを有する。本発明の合金中の金属間化合物は、 Al_2Ca 、 $Al_2(Ca, Sr)$ 、 $Al_2(Ca, Sn)$ 、 $Al_2(Ca, Sn, Sr)$ 、 Al_xMn_y （xとyの比率は合金中のアルミニウム含有量によって異なる）である。

【0019】

本発明の合金は、高温割れをおこしにくく、鋳型へ固着しにくいため、特に高圧ダイキャストに有用である。本発明はさらに砂型鋳造、永久鋳型鋳造、高圧鋳造、半凝固成形、チクソ成形、チクソモールドイングといった他の工法にも使用できる合金に関するものである。

【0020】

本発明はさらに前述した構成のマグネシウム合金によって製造した物品に関するもので、その合金は強度が高く、耐クリープ性、铸造性に優れ、その物品は高温での使用に適し、優れた耐食性を持つものである。

【0021】

【発明の実施の形態】

マグネシウム合金（magnesium based alloys）においては、アルミニウム（aluminum）、マンガン（manganese）、亜鉛（zinc）、カルシウム（calcium）、ストロンチウム（strontium）、錫（tin）といった元素のある種の組み合わせ方によって、先行技術の合金より優れた特性を持つようになることがわかった。

これらの特性としては、常温（ambient temperature）及び175～200℃といった高温での優れた引張降伏強度（tensile yield strength）及び圧縮降伏強度（compressive yield strength）であり、また150～200℃の温度範囲での優れた耐クリープ性であり、さらに優れた铸造性、耐食性、低温エージング（low temperature ageing）に対する際立った反応、及び熔融金属の動作（molten metal behavior）といったものである。

新しい合金は、250℃でのエージング（ageing）に際立った反応を示し、引張降伏強度（tensile yield strength）、圧縮降伏強度（compressive yield strength）、耐クリープ性が向上する。

【0022】

本発明のマグネシウム合金は4.7～7.3重量%（wt%、以下同じ）のアルミニウム

を含む。アルミニウムの含有量が4.7重量%未満では、良好な流動性と鑄造性を示さない。一方、アルミニウムの含有量が7.3重量%を超えると脆くなる可能性があり、また、耐クリープ性が向上しない可能性がある。

本発明の合金は1.8~3.2重量%のカルシウムを含む。この範囲でのカルシウムの含有は耐クリープ性を大幅に増し、保護ガス、特にSF₆の使用量を抑えたダイキャスト合金、さらにはベリリウムを使用しない合金を可能にするものである。カルシウムの含有量が1.8重量%未満の場合、十分な耐クリープ性が確実に得られない。一方、脆くなる(embrittlement)のを避けるためには、カルシウムの含有量が3.2重量%を超えるべきではない。

本発明の合金の本質的特性のひとつは、錫の配合により鑄造性を高めていることである。少なくとも0.3重量%の錫を含有することで鑄造性が大変良くなり、鑄型への固着をなくすことがわかった。錫の添加が2.2重量%を超えると合金の強度が低下する可能性がある。

本発明の合金は、鉄を減らし耐食性を良くするためにマンガンを含んでいる。マンガンの含有量は、アルミニウムの含有量によって異なるが、0.17~0.6重量%の範囲である。

本発明の合金は、金属間相(intermetallic phases)に働き、更に耐クリープ性を良くする為に、0.5重量%までのストロンチウムを含んでもよい。ストロンチウムの含有量が0.5%を超えると、耐クリープ性は実質的に改良されず、一方、不必要にコストがかかる。

本発明の合金は、鑄造性及び常温(ambient temperature)での強度を増す為に、0.8重量%までの亜鉛を含んでもよい。亜鉛が0.8重量%を超えると高温割れを生じる可能性がある。

【0023】

本発明の合金は0.001重量%までの微量のベリリウム(beryllium)を含んでもよい。しかしながら、本発明の重要な特徴はベリリウムを使用せずに(beryllium free)、合金が調合、鑄造可能であることである。ベリリウムは有毒な金属である為、ベリリウム・フリーは利点である。

【0024】

ケイ素(silicon)はマグネシウム合金の調合に使用されるマグネシウム中に存在する典型的な不純物である。よって、マグネシウム合金はケイ素を含んでいても良いが、その含有量は0.03重量%を超えてはならない。

鉄(iron)、ニッケル(nickel)、銅(copper)がマグネシウム合金の耐食性を著しく損なうことは知られるところである。従って、本発明の合金では、これらの含有量が、鉄で0.004重量%、ニッケルで0.001重量%、銅で0.003重量%を超えない。

【0025】

本発明の好適な実施例によれば、マグネシウム合金は5.9~7.2重量%のアルミニウム、0.9~2.1重量%の錫、2.1~3.1重量%のカルシウム、0.2~0.3重量%のマンガンを含むものである。

【0026】

ここに記載した重量%(wt%)のカルシウム、錫、ストロンチウムを添加することは、いくつかの金属間化合物(intermetallic compounds)を析出(precipitation)させることがわかった。本発明のストロンチウムを使用しない合金では、Mg-Al固溶体(solid solution)の結晶粒界(grain boundary)において金属間化合物Al₂Ca、Al₂(Ca, Sn)、Al_xMn_yが検出されている。本発明のストロンチウムを含む合金では、微細組織において、Mg-Al固溶体(solid solution)の結晶粒界に金属間化合物Al₂Ca、Al₂(Ca, Sn)、Al₂(Ca, Sr)、Al₂(Ca, Sr, Sn)、Al_xMn_y(xとyの比率は合金中のアルミニウム含有量によって異なる)の析出が見

られる。

【0027】

本発明のマグネシウム合金をテストし、広く使われ市場で入手可能なマグネシウム合金のAZ91DやAE42といった比較サンプルと比較した。

走査型電子顕微鏡による金属組織学試験及び析出物のX線回折分析によって、比較サンプルと本発明の合金の間には、例えば新しい金属間析出物 (intermetallic precipitates) の形成において、はっきり違いが現れた。

新しい合金の微細組織は、例えばMg-Al固溶体 (solid solution) の微細結晶粒及び結晶粒界に位置する共晶相 (eutectic phases) から成る。これらの相はAl, Ca, Sr, Snを含み、高い溶融点を持ち、高温での荷重負荷において、結晶粒がすべること (grain sliding) を妨げる。 10

【0028】

鑄造性 (castability) の評価は、鑄造過程での合金の性質を特徴付ける流動性 (fluidity)、鑄型への固着性 (sticking to the die)、耐酸化性 (oxidation resistance) といった三つのパラメータの組み合わせによって行った。全ての比較サンプル中で、AZ91D合金だけが本発明の合金と同様の鑄造性を持っており、AZ91Dは、AE42合金より鑄造動作がはるかに良かった。

【0029】

引張及び圧縮試験によれば、本発明の合金は、常温 (ambient temperature) での伸びは小さく、常温 (ambient temperature) 及び175℃、更に200℃でも、高い引張降伏強度 (tensile yield strength) (TYS) 及び圧縮降伏強度 (compressive yield strength) (CYS) を示す。 20

【0030】

NaCl溶液に浸した後で、クロム酸中でNaClを除去してから測定した新しい合金の耐食性は、合金AZ91D及びAE42の耐食性の範囲であった。

【0031】

クリープ特性については100MPa (メガパスカル) 及び55MPaの応力の下で200時間に渡り150℃及び200℃それぞれで測定された。この測定条件はクランクケース、オイルパン、インテーク・マニホールド (intake manifold) 等といったパワートレイン部品 (power train components) の要件を考慮して選択したものである。 30

耐クリープ性は最小クリープ速度 (minimum creep rate: MCR) によって決まるもので、最小クリープ速度 (minimum creep rate: MCR) はパワートレイン部品を設計する上で最も重要なパラメータと考えられている。

本発明の合金はAZ91D及びAE42よりもかなり高い耐クリープ性を持ち、耐クリープ性の抵抗値の比は3桁の範囲 (magnitude of three orders) に及ぶ (後述のように、図5の表5において、例5の合金のMCRは、 0.8×10^{-9} /秒である。一方、AZ91Dである比較例1のMCRは、 1426×10^{-9} /秒である。)。 40

【0032】

本発明の合金を250℃で1時間エージング (ageing) させた。この処理によって合金には顕著な析出硬化 (precipitation hardening) が見られ、腐食率に影響することなく、全ての機械的パラメータを改善するものであった。現存する商用ダイキャストマグネシウム合金は、エージング (ageing) に対して際立った反応を示さないの、本発明の合金のこの特性は大きな技術的利点である。例えば、低温エージング (ageing) は種々の塗装システムを適用するなど、他の技術的工程と組み合わせることが出来る。

【0033】

好適な実施の形態によれば、本発明の合金で作った物品は高圧ダイキャスト鑄造物である。

【0034】

本発明の別の実施の形態によれば、本発明の合金で作った物品は砂型鑄造、永久鑄型鑄造、高圧鑄造、半凝固成形、チクソ成形、チクソモールドイングのいずれかの工程による鑄造物である。

【0035】

上記のような認識によって本発明は更にマグネシウム合金の部品による物品製造に適用できる。そうした製造品は強度が高く、常温 (ambient temperature) 及び上昇した温度において耐クリープ性があり耐食性も良好であり、自動車或いは航空宇宙建造システムの部品として使用されるものである。 10

【0036】

本発明は、特に、常温 (ambient temperature) で 170 MPa を超える引張降伏強度 (tensile yield strength) を示し、 175°C で 150 MPa を超える引張降伏強度 (tensile yield strength) を示す物品に関するものである。

本発明は、 100 MPa の応力下、 150°C において、 $1.7 \times 10^{-9} / \text{秒}$ ($1.7 \times 10^{-9} / \text{S}$) よりも小さい最小クリープ速度 (minimum creep rate) (MCR) を示す物品に関するものである。

本発明は、 55 MPa の応力下、 200°C において、 $4.9 \times 10^{-9} / \text{秒}$ ($4.9 \times 10^{-9} / \text{S}$) よりも小さい最小クリープ速度 (minimum creep rate) (MCR) を示す物品に関するものである。 20

本発明は、 250°C で1時間のエージング (ageing) を受けた物品に関するものである。

【0037】

本発明は更に以下の実施例によって記述及び図示される。

【0038】

【実施例】

全体手順

本発明の合金は低カーボンスチール (low carbon steel) で作った 1000 リットルのるつぼで調合された。 $\text{CO}_2 + 0.5\% \text{SF}_6$ (二酸化炭素と 0.5% の六フッ化硫黄) の混合体が保護用ガスとして使用された。原材料は以下のとおりである。 30

マグネシウム—純粋マグネシウム、階級 9980 A 、少なくとも 99.8% のマグネシウム。

マンガン—マンガン含有量により異なるが、 $700^\circ\text{C} \sim 720^\circ\text{C}$ の溶融温度で溶解マグネシウムに加えられた $\text{Al}-60\% \text{Mn}$ 母合金 (an $\text{Al}-60\% \text{Mn}$ master alloy)。帯電片を特別に準備し、 $15-30$ 分間溶融物を集中的に攪拌することで、溶解マグネシウムへのマンガンの溶融を促進した。

アルミニウム—商用純粋 Al (不純物 0.2% 未満)。

錫—商用純粋 Sn (不純物 0.25% 未満)。 40

カルシウム—母合金 $\text{Al}-75\% \text{Ca}$ (a master alloy $\text{Al}-75\% \text{Ca}$)。

ストロンチウム—母合金 $\text{Al}-90\% \text{Sr}$ (a master alloy $\text{Al}-90\% \text{Sr}$)。

亜鉛—商用純粋 Zn (不純物 0.1% 未満)。

Al , Ca , Sr , Sn , Zn 導入時の典型的温度は $690^\circ\text{C} \sim 710^\circ\text{C}$ であった。 $2-15$ 分間集中的に攪拌することで溶解マグネシウムへこれらの元素を溶融できた。

ベリリウム—鑄造に先立ち、 $660-690^\circ\text{C}$ の温度で溶融物を加減した (適度な硬度にした) 後、 $\text{Al}-1\% \text{Be}$ 母合金 (a master alloy $\text{Al}-1\% \text{Be}$) の形態で本発明による新しい合金のいくつかに $5 \times 10^{-4}\% \sim 10 \times 10^{-4}\%$ (5 pp) 50

m～10ppm)のベリリウムを添加した。しかし、殆どの本発明による新しい合金はベリリウムを使用せず調合し鑄造した。

【0039】

必要な組成物を調合した後、本発明の合金を8kgのインゴットへと成形した。鑄型中で固形化する間、溶解金属は保護なしで鑄造された。全ての実験用インゴットの表面に焼成(burning)も酸化も見られなかった。放電スペクトロメータ(spark emission spectrometer)を用いて化学的分析を行なった。ダイキャスティング試作(die casting trials)は、3381KN(キロニュートン)(345トン)の型締力でIDRA OL-320冷加圧室ダイキャスト機を使用して行われた。実験用サンプルを製造するのに用いたダイは六個取り金型であり、以下を鑄造した。 10

—ASTM(American Society for Testing and Materials 材料試験協会)標準B557M-94により引張試験のための丸い試験片2つ、

—クリープ試験の為のサンプル1つ、

—疲労試験の為のサンプル1つ、

—ASTM E23標準の衝撃試験サンプル1つ、

—ASTM G31標準の浸漬腐食試験の為の直径10mmの丸いサンプル1つ、
ダイキャスト性は、ダイキャスティング試作(die casting trials)中における、流動性(fluidity)(F)、耐酸化性(oxidation resistance)(OR)、鑄型への固着性(die sticking)(D)によって評価された。それぞれの合金は、3つの特性に関して、質が向上するに従って、1～10までにランク付けされた。組み合わせた「鑄造性因子」(castability factor)(CF)は3つのパラメータの重み付けで計算され、鑄型への固着性は重み因子4、流動性と酸化はそれぞれ重み因子1である。 20

$CF = [(T/670) \cdot OR + (670/T) \cdot F + 4D] \cdot (100/60)$

ここでTは実際の鑄造温度、670はAZ91D合金の鑄造温度[°C]である。

【0040】

金属組織学試験(metallography examination)は、光学顕微鏡と、エネルギー分散型分光計(EDS)を装備した走査型電子顕微鏡(SEM)とを用いて行われた。相組成(phase compositions)はEDS分析とX線回折分析を組み合わせ測定された。 30

【0041】

常温(ambient temperature)及び高温での引張圧縮試験は、高温室を装備したインストロン(Instron)(登録商標)4483試験機を使用して行った。引張降伏強度(tensile yield strength)(TYS)、最大引張り強さ(ultimate tensile strength)(UTS)、伸び率(percent elongation)(%E)、圧縮降伏強度(compressive yield strength)(CYS)を測定した。

【0042】

SATEC型M-3試験機をクリープ特性の試験に使用した。クリープ特性の試験は100MPa及び55MPaの応力下で200時間に渡り150°C及び200°Cでそれぞれ行った。これらの試験条件はクランクケース、オイルパン、インテーク・マニホールド(intake manifold)といったパワートレイン部品のクリープ動作要件を考慮して選択した。耐クリープ性は最小クリープ速度(minimum creep rate)(MCR)の値によって特徴付けられ、パワートレイン部品の設計において最も重要なパラメータと考えられている。 40

【0043】

腐食性はASTM標準G31-87に従って浸漬腐食試験を行うことで評価した。試験をしたサンプルは、長さ100mm、直径10mmの円筒形ロッドであるが、アセトン中で 50

脱脂した後、72時間に渡り、 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ の常温 (ambient temperature) で、5% NaCl 溶液に浸した。各合金について、5つのサンプルをテストした。その後、クロム酸溶液 (1リットル当たり CrO_3 180g) 中で3分間 80°C でサンプルから腐食物を剥離した。重量損失を測定し、平均腐食率 (average corrosion rate) (CR) を $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ で計算するのに使用した。

【0044】

合金の実施例

図1～図5に示す表1～表5は、本発明による合金と比較例の合金の化学的組成及び特性を表している。図2の表2は5つの比較例と共に本発明による14の新しい合金の化学的組成を表したものである。比較例1と2はそれぞれ、商用マグネシウム合金のAZ91D及びAE42である。 10

【0045】

図6～図9には本発明による新しい合金と比較例1、2の金属組織学試験 (metallography examination) の結果を示す。顕微鏡写真により、結晶境界の共晶析出物 (eutectic precipitates) に囲まれたMg-Al固溶体 (solid solution) 或いはMg-Al-Sn固溶体 (solid solution) の結晶粒が観察できる。これらの相はX線回折分析及びEDS分析によって認識された。これらの結果を比較用の合金のデータと共に図4の表4にまとめて示す。この表によって、アルミニウム、カルシウム、錫、ストロンチウム、マンガン、亜鉛を前述した質量パーセントで合金とすることにより、AZ91DやAE42合金に見られる金属間化合物とは異なる、新しい金属間相 (new intermetallic phases) が形成されていることがわかる。 20

【0046】

図3の表3に新しい合金のダイキャスト性を示す。本発明による新しい合金はAE42合金 (比較例2) よりはるかに良いダイキャスト性を示していることは明らかである。比較例3～5はMg-Al-Ca合金に錫を加えることで、鋳型への固着が明らかに減ることを示している。

【0047】

図5の表5には、新しい合金の引張、圧縮、クリープ特性及び耐食性を示す。これらの結果は本発明による合金の引張降伏強度 (tensile yield strength) (TYS) と圧縮降伏強度 (compressive yield strength) (CYS) とが常温 (ambient temperature)、及び特に 175°C 、 200°C といった高温において従来の合金AZ91DやAE42よりもはるかに高いことを表している。 30

【0048】

図5の表5から、本発明の合金は、AZ91Dと比較したとき常温 (ambient temperature) 及び特に 175°C 、 200°C といった高温において、高い引張降伏強度 (tensile yield strength) (TYS) と圧縮降伏強度 (compressive yield strength) (CYS) を示し、AE42合金と比較したときはるかに高いことがわかる。 40

【0049】

図5の表5に見られるように、本発明の合金の最大の利点はそのクリープ特性である。 150°C 、 200°C で商用合金のAZ91D及びAE42と比較したとき、本発明の新しい合金は最小クリープ速度 (minimum creep rate) (MCR) が2～3桁低い。例えば、本発明の例5による合金のMCR値は 150°C で $0.80 \times 10^{-9} / \text{秒}$ であり、一方AZ91D合金は $1426 \times 10^{-9} / \text{秒}$ である。

【0050】

図1の表1は、新しい合金の特性において、 250°C で1時間のエージング (ageing) による効果を示している。TYS値、UTS値、E値 (percent elongation)、CYS値は 20°C における結果である。表1はエージング (ageing) 50

）処理の前後の値を示している。表 1 の状態の F はエージング（a g e i n g）前を示し、T 5 はエージング（a g e i n g）後を示す。考慮したパラメータの殆どがエージング（a g e i n g）処理によって改善されていることがわかる。

【0051】

本発明は、いくつかの特定の例によって説明してきたが、多くの修正変更が可能である。従って、上記の請求項の範囲において、これまで説明した以外に本発明を適用できる。

【0052】

【発明の効果】

本発明によれば、175～200℃といった高温での使用に耐えるマグネシウム合金を提供することができる。また、本発明によれば、175℃～200℃までの高温での耐クリープ性を改良しつつ、常温（a m b i e n t t e m p e r a t u r e）時及び高温時の強度を改良した合金を提供することができる。

10

【0053】

また、本発明によれば、特に高圧ダイキャスト工程によく適応し、鑄型に固着しにくく、酸化し難く、高温割れをおこしにくく、かつ、流動性に優れた合金を提供することができる。

【0054】

また、本発明によれば、耐食性に優れ、高温時の使用に適したマグネシウム合金を提供することができる。

【0055】

また、本発明によれば、砂型鑄造、永久鑄型鑄造、高圧鑄造、半凝固成形、チクソ成形、チクソモルディングといった他の工法にも使用できる合金を提供することができる。

20

【0056】

また、本発明によれば、ベリリウムを使用せず鑄造できる合金を提供することができる。

【0057】

また、本発明によれば、エージング（a g e i n g）の過程で強度が改善する合金を提供することができる。

【0058】

また、本発明によれば、上述した動作と特性を持つ合金であって、比較的安価な合金を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】合金の機械的特性におけるエージング（a g e i n g）による影響を示す表 1 の図である。

【図 2】合金の化学的組成を示す表 2 の図である。

【図 3】新しい合金の鑄造特性を示す表 3 の図である。

【図 4】新しい合金の金属間相（i n t e r m e t a l l i c p h a s e s）を示す表 4 の図である。

【図 5】合金の機械的特性及びクリープ特性を示す表 5 の図である。

【図 6】（a）及び（b）は、それぞれ、例 1 及び例 3 によるダイキャスト合金の微細組織を示す図である。

40

【図 7】（a）及び（b）は、それぞれ、例 5 及び例 7 によるダイキャスト合金の微細組織を示す図である。

【図 8】（a）及び（b）は、それぞれ、例 10 及び例 12 によるダイキャスト合金の微細組織を示す図である。

【図 9】（a）及び（b）は、それぞれ、ダイキャスト合金 A Z 9 1 D（比較例 1）及び A E 4 2（比較例 2）の微細組織を示す図である。

【図 1】

表1. 新合金の機械的特性におけるエージング (250℃で1時間) による影響

合金	状態	引張降伏強度 (TYS) MPa	最大引張強さ (UTS) MPa	伸び (E)%	圧縮降伏強度 (CYS) MPa	最小クリープ速度 MCR: 10 ⁶ [S ⁻¹]			平均腐食率 (CR) mg/cm ² / day
						150℃ 100MPa	200℃ 55MPa		
例3	F	183	237	4	183	0.84	1.05	1.58	1.58
	T5	195	250	5	195	0.82	1.08		
例6	F	179	240	5	179	1.44	2.54	1.38	1.38
	T5	200	255	5	198	1.28	2.35		
例8	F	188	236	5	186	1.05	1.95	1.35	1.35
	T5	197	243	3	198	1.02	1.97		
例14	F	195	234	3	193	1.31	2.40	1.35	1.35
	T5	203	250	3	202	1.18	2.28		

【図 3】

表3. 新合金のダイキャスト特性

合金	金属温度[℃]	耐酸化性 (OR)	流動性 (F)	鋳型への固着性 (D)	ランク (CF)
例1	670	10	9	9	91.7
例2	690	10	10	8	86.7
例3	675	10	9	8	85.1
例4	680	10	10	9	93.3
例5	670	10	9	9	91.7
例6	670	10	9	10	98.4
例7	660	10	9	9	91.7
例8	660	10	9	9	91.7
例9	670	10	10	9	93.3
例10	675	10	10	9	93.3
例11	660	10	10	9	93.3
例12	660	10	10	10	100
例13	660	10	10	9	93.3
例14	660	10	10	9	93.3
比較例1	670	9	10	10	98.4
比較例2	690	8	8	9	80
比較例3	690	10	8	5	60
比較例4	675	10	9	7	78.3
比較例5	660	10	10	9	93.3

【図 2】

表2. 合金の化学的組成

合金	Al %	Mn %	Zn %	Ca %	Sn %	Sr %	Si %	Fe %	Ni %	Cu %	Be %
例1	4.7	0.29	-	1.9	1.8	0.3	0.01	0.002	0.0006	0.0005	-
例2	5.3	0.31	0.3	1.8	0.3	-	0.01	0.002	0.0005	0.0005	-
例3	5.1	0.30	-	2.9	1.0	-	0.01	0.003	0.0006	0.0006	-
例4	4.9	0.30	-	2.0	2.0	0.3	0.01	0.003	0.0005	0.0005	-
例5	5.2	0.31	-	3.1	0.5	-	0.01	0.002	0.0007	0.0004	0.0007
例6	6.1	0.29	0.6	2.2	2.0	-	0.01	0.002	0.0006	0.0006	-
例7	6.2	0.30	-	2.1	0.5	0.3	0.01	0.003	0.0006	0.0005	-
例8	6.2	0.28	-	2.8	1.5	-	0.01	0.003	0.0007	0.0005	-
例9	5.9	0.26	-	3.0	0.5	0.03	0.01	0.002	0.0005	0.0006	-
例10	6.6	0.25	-	1.9	1.5	0.05	0.01	0.003	0.0006	0.0005	-
例11	7.1	0.26	-	2.0	0.5	-	0.01	0.003	0.0006	0.0006	-
例12	7.0	0.23	0.8	2.1	2.0	-	0.01	0.002	0.0005	0.0005	-
例13	7.3	0.24	-	3.1	0.7	-	0.01	0.003	0.0006	0.0005	0.0004
例14	7.1	0.21	0.7	3.0	1.1	-	0.01	0.002	0.0005	0.0005	-
比較例1	8.9	0.23	0.74	-	-	-	0.01	0.002	0.0007	0.0009	0.0009
比較例2	4.3	0.29	0.01	2.48RE	-	-	0.01	0.002	0.0008	0.0008	0.0008
比較例3	4.1	0.34	-	1.5	-	0.10	0.01	0.002	0.0005	0.0007	0.0009
比較例4	5.5	0.31	-	2.7	-	0.15	0.01	0.003	0.0006	0.0008	0.0008
比較例5	7.9	0.24	0.7	2.2	1.0	-	0.01	0.003	0.0008	0.0007	-

【図 4】

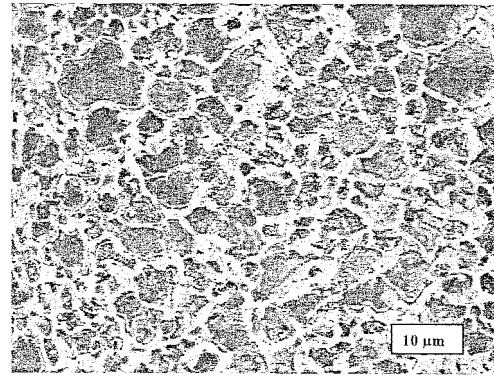
表4. 新合金の金属間相(intermetallic phases)

合金	相化合物(phase composition)
例1	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al ₂ (Ca, Sr), Al ₂ (Ca, Sn, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,66}
例2	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,44}
例3	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,48}
例4	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al ₂ (Ca, Sr), Al ₂ (Ca, Sn, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,47}
例5	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,43}
例6	Mg-Al-Zn-Sn ₃₇ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,38}
例7	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sr), Al ₂ (Ca, Sn), Al ₂ (Ca, Sn, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,41}
例8	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,37}
例9	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al ₂ (Ca, Sr), Al ₂ (Ca, Sn, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,36}
例10	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sr), Al ₂ (Ca, Sn, Sr)
例11	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,36}
例12	Mg-Al-Zn-Sn ₃₇ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,35}
例13	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,38}
例14	Mg-Al-Sn ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn), Al _{6,48} Mn _{0,35}
比較例1	Mg-Al ₃₃ , Mg ₁₇ (Al, Zn) ₁₂ , Al ₆ Mn ₅
比較例2	Mg-Al ₃₃ , Al ₁₁ RE ₃ , Al ₁₀ RE ₂ Mn ₇
比較例3	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,42}
比較例4	Mg-Al ₃₃ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sr), Al _{6,48} Mn _{0,46}
比較例5	Mg-Al-Sr-Zn ₃₇ , Al ₂ Ca, Al ₂ (Ca, Sn)

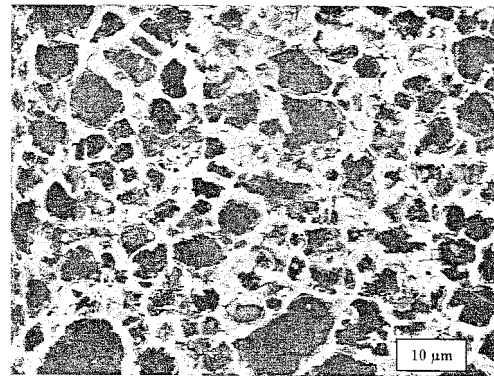
【図 5】

表5. 機械的特性とクリップ特性									
合金	引張降伏強度 (TYS) MPa		最大引張強さ (UTS) MPa	伸び (E)%	圧縮降伏強度 (CYS) MPa		最小クリップ速度 MCR: 10 ³ [S ⁻¹]		平均腐食率 (CR) mg/cm ² /day
	20℃	175℃			20℃	175℃	150℃	200℃	
例1	175	160	145	227	5	172	150MPa	55MPa	1.52
例2	172	158	142	235	5	175	130	1.96	1.50
例3	183	165	154	237	4	183	165	1.05	1.58
例4	170	161	142	236	6	171	160	1.40	1.48
例5	180	168	152	235	4	179	168	0.80	1.56
例6	179	165	145	240	5	179	164	1.44	1.38
例7	178	163	148	238	5	176	163	1.39	1.45
例8	188	170	155	236	5	186	169	1.05	1.37
例9	186	172	157	232	4	186	172	0.95	1.88
例10	179	162	145	250	5	180	160	1.65	1.54
例11	180	160	143	248	5	179	160	1.42	1.32
例12	183	165	145	245	4	185	163	1.59	1.45
例13	196	170	158	230	3	192	170	1.25	1.47
例14	195	174	160	234	3	193	173	1.31	1.32
比較例1	160	88	75	260	6	158	86	75	1426
比較例2	135	88	85	240	12	136	90	86	784
比較例3	160	148	138	225	3	155	147	136	4.72
比較例4	179	160	145	220	3	178	161	144	0.87
比較例5	195	168	153	230	1	192	165	150	5.6

【図 6】

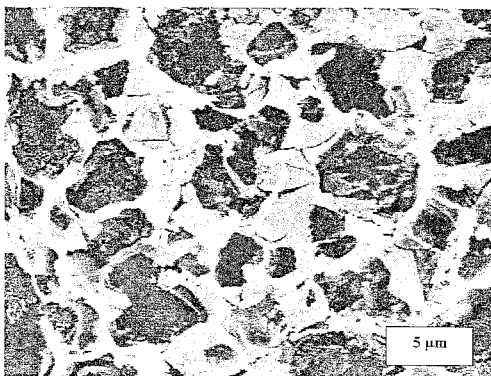


(a)

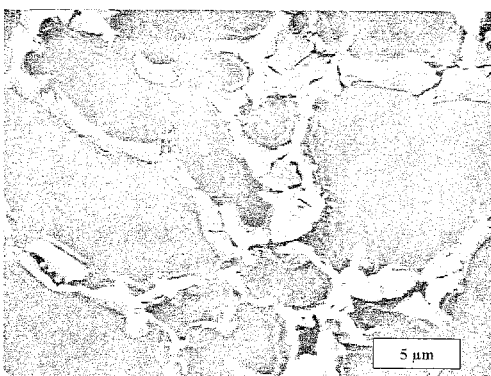


(b)

【図 7】

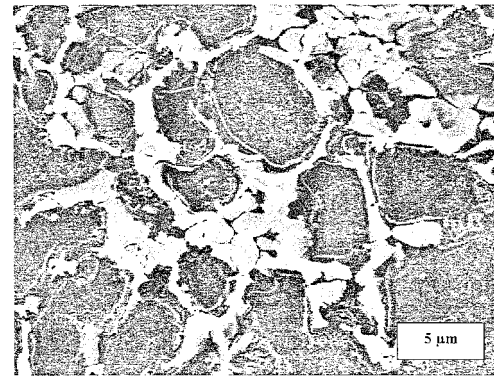


(a)

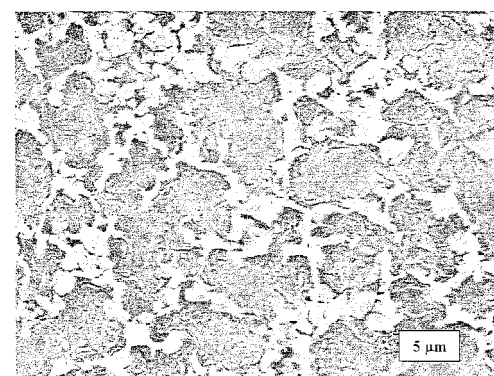


(b)

【図 8】

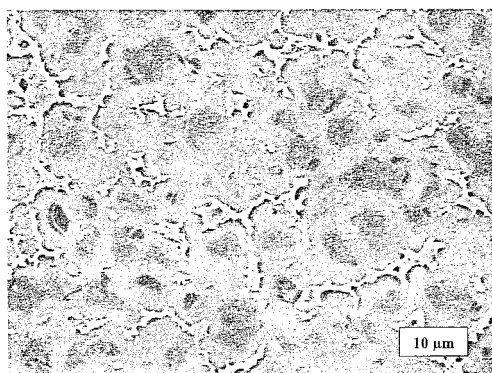


(a)

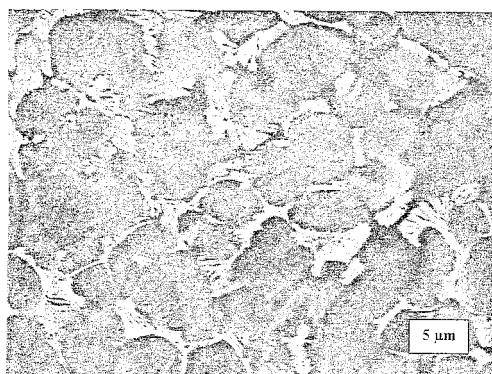


(b)

【図 9】



(a)



(b)

フロントページの続き

- (74)代理人 100099461
弁理士 溝井 章司
- (74)代理人 100122035
弁理士 渡辺 敏雄
- (72)発明者 ブロンフィン, ボリス
イスラエル 84726 ベール シェバ カフリシン ストリート 26/13
- (72)発明者 アギオン, エリヤフ
イスラエル 84965 オマー アタド ストリート 44
- (72)発明者 フォン バック, フランク
ドイツ連邦共和国 ディー 38542 ライフェルデ ランゲス モール 13
- (72)発明者 シューマン, ゾンケ
ドイツ連邦共和国 ディー 38179 シュベルパー クレイカンブ 8
- (72)発明者 カジル, マーク
イスラエル 84726 ベール シェバ ザファト ストリート 6/24