

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560893

研究課題名(和文) 中間相への元素複合固溶による希土類金属レス軽量合金の開発

研究課題名(英文) Development of light-weight alloys by solubility of elements without rare metals into metastable phase

研究代表者

松田 健二 (Matsuda, Kenji)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：00209553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：低炭素化社会の実現のためには、次世代自動車用材料として軽量であるアルミニウム合金の使用は必須である。本研究では、申請者のもつアルミニウム合金の整合性ナノ組織制御技術として考案した手法と原理を完成させることにより、希土類金属元素に依存しない新しい機能性アルミニウム合金の開発研究を行うことを目的とした。その結果、一部のアルミニウム合金においては、添加元素が中間層の核生成に直接関与して強化につながる事が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The light-weight aluminum alloys are required for automotive materials to realize low carbon community and to protect environment of the Earth. It is also easily expected that the increasing of consumption of aluminum alloys which have high performance functions, and the controlling of nano-structure in those new aluminum alloys is really important. We have the technology of coherently controlling of nano-structure in aluminum alloys and this technique should be completed and extended for designing of new functional aluminum alloys without any expensive elements or rare earth metals. This is the purpose of this research project. It has been found out that there are specific elements which shows solubility or formation of periodicity in its metastable phase, or changing shape of equilibrium phase on some aluminum alloys. It is suggested that these behaviors introduce the changing crystal structure and precipitation sequence, or strengthening of alloys.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属生産工学

キーワード：アルミニウム 低炭素化 軽量化 レアメタルレス 時効析出

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

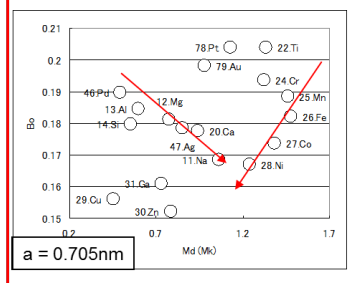
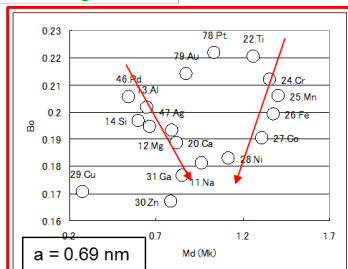
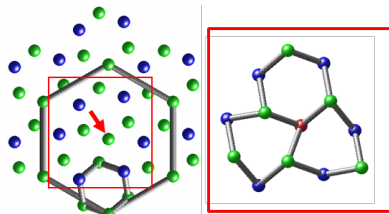
地球温暖化防止の観点から、CO₂ 排出の規制は世界的な問題であり、とくに日本や欧米諸国では CO₂ 排出の規制への対応として、世界的に需要の高い自動車等の陸上輸送機関の低燃費化の実現を目指し、軽量材料を使用した自動車開発が推進されている。このような中で、希土類(レアアース:RE)金属は微量で性能向上が顕著であることから、マグネシウム(Mg)合金を主体した軽量金属への添加が行われ、各種の優秀な研究成果が報告されている。しかしながら、RE 金属の供給の不安定さの日本経済へ与える影響は記憶に新しく、大変深刻である。

2. 研究の目的

本研究では、申請者のもつアルミニウム合金の整合性ナノ組織制御技術として考案した手法と原理を完成させることにより、希土類金属元素に依存しない新しい機能性アルミニウム合金の開発研究を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

目的達成のため、時効硬化現象に有効である元素の Md-Bo 相関図を作成した。これは Al-Mg-Si 合金中の中間相 β' のクラスタ構造であり、赤矢印で示した元素を下のグラフにある元素で置換することができる。Md-Bo 相関図から、Al, Mg, Si に近い Ag は候補として挙げられ、また、Bo レベルが同等の Fe と Mn も候補とした。下記の合金の作製を行った。

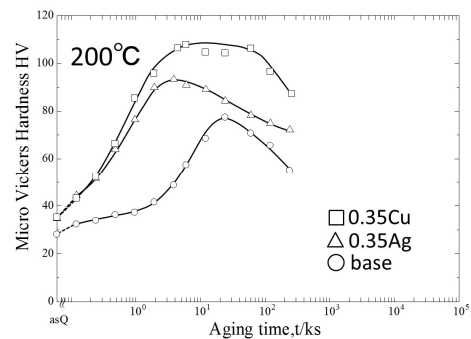


Al-0.67%Mg	0.37%Si (at%)
Al-1.15%Mg	0.35%Si (at%)
Al-0.67%Mg	0.37%Si-0.35%Cu (at%)
Al-1.15%Mg	0.35%Si 0.2%Cu (at%)
Al-0.67%Mg	0.37%Si-0.35%Ag (at%)
Al-1.15%Mg	0.35%Si 0.11%Ag (at%)
Al-0.67%Mg	0.37%Si-0.2%Cu-0.1%Ag (at%)
Al-0.67%Mg	0.37%Si-0.1%Cu-0.2%Ag (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.05%Mn (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.09%Mn (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.25%Mn (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.4%Mn (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.05%Fe (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.1%Fe (at%)
Al-0.71%Mg	0.37%Si 0.2%Fe (at%)

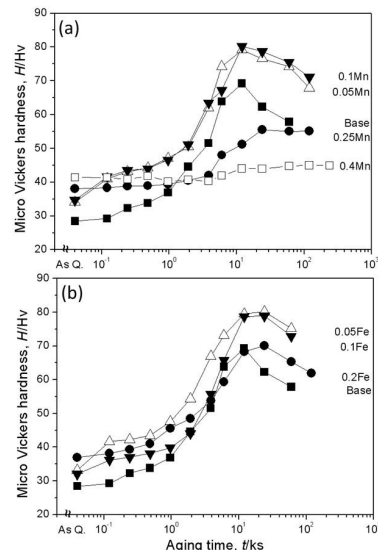
続いて、作製した新規合金の時効析出挙動の確認と複合添加合金の最適化、特に最終年度は、他の Al 合金および Mg 合金への適用を試みた。

4. 研究成果

(1) 6000 系アルミニウム合金への適用



上図は一例として Al-0.67%Mg-0.37%Si 合金に 0.35%の Ag または Cu を添加した合金の 200 での時効硬化曲線を示す。添加元素を含む合金の硬さの増加が時効初期で大変早いことが明らかである。また下図は Mn あるいは Fe 添加した合金の時効硬化曲線である。



図より明らかのように、例えば Mn 添加では 0.05 あるいは 0.15 という微量添加でいったん硬さが増加するという傾向が確認された。これら Ag, Mn, Fe 添加での硬さの増加現象は、添加した元素が核生成から関与していることを示唆すると考えられた。なお、Cu 添加については MgSi 系化合物に加えて、AlMgSiCu 系化合物が形成されるためと考えられた。この硬さの増加傾向は、Ag と Cu を同時添加した合金においても確認された。さらに、Ag/Cu= 2 の合金では AlMgSiCu 系化合物よりも MgSi 系化合物が多かったのに対して、Ag/Cu= 0.5 の合金では逆に AlMgSiCu 系化合物のほうが多く観察された。

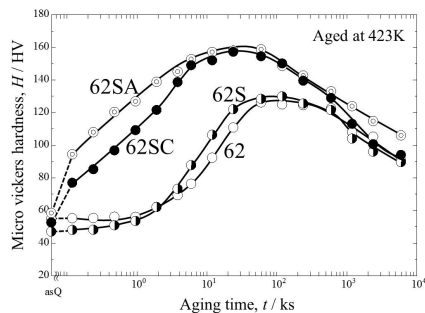
(2) 7000 系アルミニウム合金への適用

Md-Bo 相関図から、Md 値が Al, Zn, Mg と同等である Ag, Bo 値が Zn と同等の Cu を選択し、下記の合金を作製した。

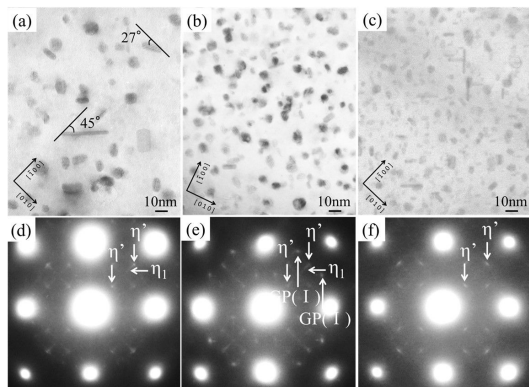
Al-2.8%Zn-2.4%Mg(at%)

Al-2.8%Zn-2.4%Mg-0.2%Ag(at%)

Al-2.8%Zn-2.4%Mg-0.2%Cu(at%)



上図は各合金を 150 で時効した時の硬さ変化曲線である。Ag を添加した 62SA 合金と Cu を添加した 62SC 合金は添加していない 62S 合金よりも硬さが高く、硬さの立ち上がりも早いという、6000 系 Al-Mg-Si 合金と同様の傾向を示した。



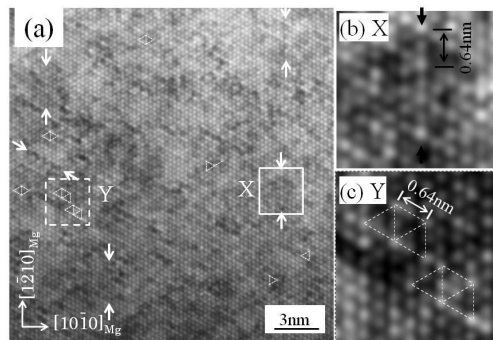
上図は各合金の最高硬さまで時効した試料のミクロ組織を TEM にて観察した結果である。左から添加していない 62S 合金、Cu を添加した 62SC 合金、Ag を添加した 62SA 合金である。添加元素を含む合金では析出物が微細となっており、6000 系 Al-Mg-Si 合金と同様、添加元素が核生成に寄与していることが推察

された。

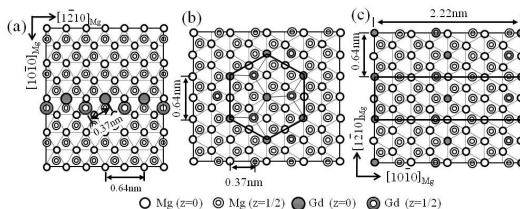
以上の結果は、添加元素の役割を今後さらに明らかにすることで、希少金属ではない元素の添加によって、従来の合金の機械的性質の改善が可能であることを示唆していると考えられた。

(3) Mg 合金への適用

Mg-RE 合金への適用を試みるべく、Mg-Gd-Y 合金に関する時効析出を詳細に調査した。この合金系を選択したのは既に実用合金として出回っているからである。合金の化学組成は Mg-2.9 at% Gd -0.8 at% Y alloy (Gd/Y 3) である。



上図は本合金を 200 で 1.8ks 時効した試料を高分解能 TEM 観察した結果である。時効初期特有の組織が観察された。これらが何であるのかを下記のモデルを使用して画像シミュレーションを行い、単層ゾーン、”相および ’相を区別することができた。つまり



希土類元素は化合物の特定の位置に存在しており、かつその影響で高分解能 TEM 像に強いコントラスト変化を与えていた。

残念ながら今回の研究期間においては、希土類元素を皆無とした Mg 合金開発には至らなかった。しかし得られた知見から、希土類を含むと Mg 原子と希土類元素間の d 電子密度が増加し、結合力を増加させることが明らかとなった。今後はこれと同様の効果をもたらす元素を抽出することで、希土類レス合金の開発が可能になると考えられた。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

Yuuki Matsuoka, Kenji Matsuda, Katsumi Watanabe, Junya Nakamura, Williams Lefebvre, Daisuke Nakagawa, Seiji Saikawa, Susumu Ikeno, Precipitation sequence in the Mg-Gd-Y system investigated by HRTEM and HAADF-STEM, Materials Transactions, 査読有, 2014 (掲載決定)

渡邊克己, 丸野 瞬, 松田健二, 李昇原, 堀田善治, 寺田大将, 才川清二, 廣澤 渉一, HPT 加工後に時効した過剰 Mg 型 Al-Mg-Si 合金の時効挙動と組織観察, 軽金属, 査読有, 63 巻 406-412 頁, 2013

〔学会発表〕(計 5件)

Kenji Matsuda, [Keynote] Precipitation in Al-Mg-Si alloy added transition metals, THERMEC' 2013, Rio Hotel, 2-6, Dec. 2013, Las Vegas, USA

K. Watanabe, S. Ikeno, T. Yoshida, S. Murakami, K. Matsuda, Variation of Aging Behavior for Cu or Ag Addition Al-Zn-Mg Alloys, PRICM 8, 4-8 Aug. 2013, Hilton Waikoloa Village, Hawaii.

Y. Ogawa, S. Ikeno, Y. Yoshimura, K. Kita, K. Matsuda, Age-Hardening Behavior of Deformed Excess Mg-Type Al-Mg-Si Alloys, PRICM 8, 4-8 Aug. 2013, Hilton Waikoloa Village, Hawaii.

西 将伴, 三浦直也, 渡邊克己, 吉田朋夫, 村上 哲, 池野 進, 松田健二, Zn/Mg 比の異なる 7000 系 Al 合金の時効組織の TEM 観察, 軽金属学会第 125 回秋季大会, 2013 年 11 月, 横浜国立大学

S.Mikmekova, K.Matsuda, Characterization of metal surfaces using slow and very slow electrons, 日本顕微鏡学会第 67 回学術講演会, 2013 年 5 月, エキスポパーク大阪

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:

種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 健二 (MATSUDA, Kenji)
富山大学大学院理工学研究部・教授
研究者番号: 00209553

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: