

同時発表：
筑波研究学園都市記者会（資料配布）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）
新潟県内の各報道機関（資料配布）



室温成形可能で高強度な時効硬化型マグネシウム合金を開発

～アルミニウム合金に匹敵する成形性で比強度は1.5倍以上 輸送機器の軽量化が期待～

配布日時：平成29年6月15日14時

解禁日時：平成29年6月16日9時

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

国立大学法人 長岡技術科学大学

概要

1. 国立研究開発法人物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点（拠点長：宝野和博）の Bian Ming-Zhe NIMS ポスドク研究員、佐々木泰祐主任研究員らと、国立大学法人長岡技術科学大学 機械創造工学専攻 鎌土重晴教授らの研究チームは、自動車の車体などに使われているアルミニウム合金に匹敵する優れた室温成形性と強度を示すマグネシウム合金圧延材を開発しました。

2. マグネシウム合金は実用金属の中で最も軽い金属であることから、軽量化による燃費向上が求められる自動車や鉄道車両などの構造材料としての応用が長年期待されてきましたが、これまで棒材や板材などに加工できる展伸マグネシウム合金の車体への応用はほとんどありませんでした。それは、一般的なマグネシウム合金が現在使われている鉄鋼材料やアルミニウム合金に比べて製造コストが高く、室温での成形性と強度が劣っていたためです。

3. 今回、NIMS と長岡技術科学大学の研究チームは、一部の自動車の車体に使われている中強度アルミニウム合金に匹敵する室温成形性を持ちながら、重さ当たりの強度が1.5～2.0倍となる新たな時効硬化型マグネシウム合金、 $Mg-1.1Al-0.3Ca-0.2Mn-0.3Zn(at.%)$ (AXMZ1000)、を開発しました。これらの優れた特性が得られた要因は、亜鉛(Zn)とマンガン(Mn)の微量添加により優れた成形性を得られるような微細結晶組織を形成し、アルミニウム(Al)とカルシウム(Ca)の添加により成形後の時効処理とよばれる熱処理で強度を高めることができたためです。

4. 開発合金には、資源的に豊富で安価な合金元素しか使われておらず、板材とするための加工・熱処理プロセスも、通常のアルミニウム合金と同じ単純なものです。したがって、室温成形性と強度の問題のみならず、製造コストの問題もクリアすることができるため、これまで展伸マグネシウム合金の応用の妨げとなっていた長年の課題をクリアできると期待されます。今後、開発合金を大型化し、輸送機器の軽量化のための構造材料としての応用を目指していきます。

5. 本研究は、科学技術振興機構 先端的低炭素化技術開発 (JST-ALCA)の一環として行われました。

6. 本研究成果は、材料系の速報誌 *Scripta Materialia* 誌にて、日本時間2017年6月16日午前9時に掲載されます。

研究の背景

最も軽い金属材料として知られるマグネシウム合金は、軽量化によりさらなる燃費向上の求められる自動車や鉄道車両などの輸送機器の構造材料としての応用が期待されています。しかし、現在のマグネシウム合金部材は鋳造材がほとんどで、棒や板の形状で車体部品として応用できる安価で高強度な展伸マグネシウム合金がほとんどありません。

展伸マグネシウム合金の応用を妨げる主な要因として、アルミニウム合金や鉄鋼材料など、現在構造材料として用いられている材料に比べて製造コストが高いことと、鉄やアルミニウムのように室温での優れたプレス成形性と高い強度を備えた圧延材がないことが挙げられます。

たとえば、薄板をプレス成形によって最終形状に加工するには、アルミニウムでは室温でのプレス加工が可能ですが、マグネシウム合金は室温でプレス成形できないため、材料や金型を 250°C 以上に加熱しなければならず、このために加工コストが高くなるという欠点がありました。この問題を解決するため、マグネシウム合金の室温成形性をアルミニウム合金並みに改善する研究が行われてきました。しかし、室温成形性を高めるためには室温における強度を犠牲にしなければならないために、優れた室温成形性と高い強度を兼ね備えるマグネシウム合金薄板材の開発が待たれていました。



図 1: 熱処理型合金において優れた室温成形性と強度を得るためのプロセス

NIMS の研究グループは、2010 年に同グループが開発したわずかな合金元素でも時効硬化を示す Mg-0.3Al-0.3Ca (at.%) 希薄合金に着目しました。この合金は従来の Mg-Al-Zn 系展伸合金に比べて著しく合金元素添加量が低いにもかかわらず、熱処理をすると Ca と Al の原子集合体ができ、これが強度を著しく高める「時効硬化」という現象が起こります。図 1 に示すように、圧延後の溶体化処理により材料を軟化させて優れた常温での成形加工性を発現させ、成形加工後に熱処理を行って材料を時効硬化により強化できるため、優れた常温での加工性と高い強度が両立できると考えました。

研究内容と成果

NIMS の佐々木泰祐主任研究員らは長岡技術科学大学と共同で、Mg-Al-Ca 希薄合金にマンガン(Mn)と亜鉛(Zn)を添加した Mg-1.1Al-0.3Ca-0.2Mn-0.3Zn (at.%) (AXMZ1000)合金を開発しました。この合金を高温で圧延を行い薄板に加工し、室温での成形加工性をエリクセン試験²⁾によって評価したところ、エリクセン値にして 7.7 mm という高い値を示しました (図 2)。



図 2: 開発合金のエリクセン試験後の外観

この板材に 200°C で時効処理を行ったところ、図 3 の引張応力-ひずみ曲線に示すように、0.2%耐力は 144 MPa から 204 MPa まで向上しました。こうした特性は、図 4 の 0.2%耐力とエリクセン値の関係からもわかるように、従来のマグネシウム合金圧延材に比べると飛躍的に優れているだけでなく、現在使用されている自動車用中強度アルミニウム合金に匹敵します。マグネシウム合金はアルミニウム合金よりも軽量ですから、重さあたりの強度（比強度）に換算するとその比強度は 1.5~2.0 倍になります。つまり開発されたマグネシウム合金はアルミニウム合金に匹敵する成型性を持ちながら、2 倍の強度をもつ超軽量材料と言えます。

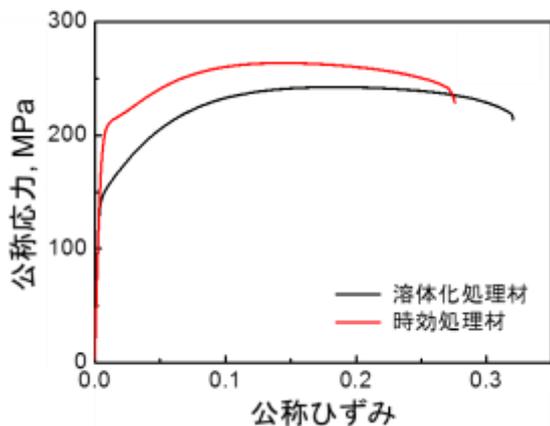


図 3: 開発合金の時効処理前後の応力-ひずみ曲線。時効処理によって強度が向上する。

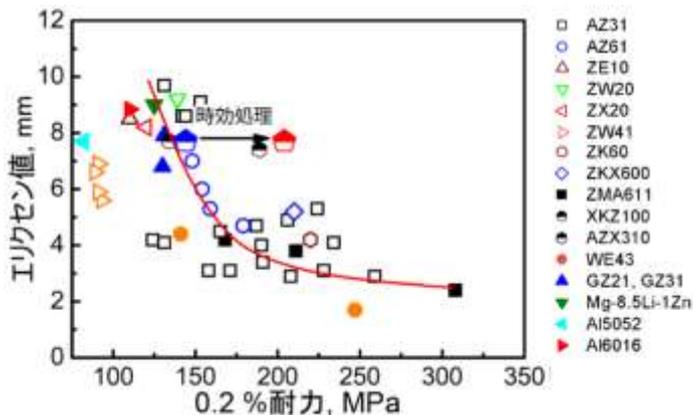
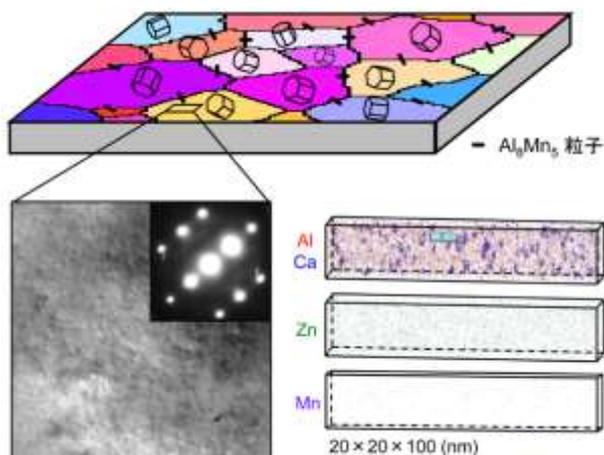


図 4: 開発合金とその他の合金のエリクセン値と強度の比較。開発合金は他の合金に比べて優れたエリクセン値と強度のバランスを有する。

このように、従来のマグネシウム合金では実現されなかった優れた常温成形加工性と高強度を持つマグネシウム合金の開発に成功した鍵は 2 点あります。1 つは、Zn の微量添加により結晶方位の配向³⁾を制御したことです。一般的に、マグネシウム合金圧延材は、六方稠密構造で原子がぎっしり詰まっている面（底面）が圧延加工中に強く配向し、これが室温での成型性を著しく劣化させます。一方で、開発した AXMZ1000 合金は、圧延直後では底面が強く配向していますが、溶体化処理を施すことでその配向が大きく乱れます。その結果、室温変形中に底面での原子すべりが簡単に起こって、大きく変形できると考えられます。

もう 1 つは、合金組成の最適化により時効硬化による強化効果を最大限に高めたことです。ベース合金である Mg-0.3Al-0.3Ca 合金には、熱処理によって Mg と Al、Ca 原子の集合体が形成します。しかし、ベース合金に Mn を添加すると、熱処理前に Al と Mn の化合物が形成します。この化合物は結晶粒を微細に保つ上で重要ですが、強化にはあまり効果的ではありません。この化合物ができてしまうと、Al と Ca の集合体をつくるのに必要な Al が消費されるため、原子集合体の数密度が低下し、十分に高い時効硬化が得られないのです。そこで、微細な結晶粒組織を保持するために必要な Mn 添加量と、時効硬化に必要な Al の添加量を最適化し、微細な結晶粒を維持しながら優れた時効硬化特性が得られるよう合金組成の最適化を行い、熱処理後に高い強度が得られるようにしました。

Zn 添加による結晶配向のランダム化



Al, Ca 添加による G.P. zone の形成

図 5: 開発合金において優れた特性を得るためのポイント。Zn 添加による結晶配向のランダム化と、Al, Ca 添加による原子集合体の形成による高強度化。原子集合体の存在は左下の透過電子顕微鏡像で確認でき、そこには Al と Ca が濃化していることが 3 次元アトムプローブにより得た 3 次元原子マップにより確認できる。

今後の展開

本マグネシウム合金の開発により、アルミニウム合金のように使える熱処理型マグネシウム合金の実用化に近づいたと言えます。鉄やアルミニウムの代わりに軽いマグネシウム合金板材を車体の構造材料として使用することができれば、燃費向上のための車体の大幅な軽量化が期待できます。本研究において開発されたマグネシウム合金は既存のアルミニウム合金展伸加工設備を使うことができるので、特別な設備投資も必要とせず大型化への展開も比較的容易と考えられ、マグネシウム合金の応用の広がり大きく期待されます。

現在、科学技術振興機構の先端的低炭素化技術開発 (JST-ALCA)の中で大型化に向けた研究や諸特性の評価に取り組んでおり、社会実装に向けた実用化研究の展開と加速が期待されます。

掲載論文

題目：A heat treatable Mg-Al-Ca-Mn-Zn sheet alloy with good room temperature formability

著者：M.-Z. Bian, T.T. Sasaki, B.-C. Suh, T. Nakata, S. Kamado, K. Hono

雑誌：Scripta Materialia

掲載日時：2017年6月16日

用語解説

- (1) 時効硬化：金属材料中に添加した合金元素が析出することで金属材料が硬化する現象。溶体化処理とよばれる高温での熱処理によって添加した合金元素を固溶させ、これを急冷して室温で過飽和に合金元素を固溶させる。その後、マグネシウム合金の場合は160~200°Cで時効処理を行い、過飽和に固溶した合金元素を析出させることで強化する。
- (2) エリクセン試験：金属薄板の張出し成形性を評価する代表的な試験の一つ。所定のサイズの薄板をダイスとシワ押さえの間に挿入して固定し、金属薄板が破断するまで半球状のパンチを押し込み、割れた時のくぼみの高さをmm単位で測定する。くぼみの高さをエリクセン値と呼び、この値が大きいほど張出し成形性が良い。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点 磁性材料解析グループ
主任研究員 佐々木 泰祐 (ささき たいすけ)

E-mail: SASAKI.Taisuke@nims.go.jp

TEL: 029-859-2466

URL: <http://www.nims.go.jp/mmu/>

国立大学法人 長岡技術科学大学
理事・副学長 鎌土 重晴 (かまど しげはる)

E-mail: kamado@mech.nagaokaut.ac.jp

TEL: 0258-47-9710

URL:

(報道・広報に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp

国立大学法人 長岡技術科学大学 総務部大学戦略課企画・渉外係
TEL: 0258-47-9209, FAX: 0258-47-9010
E-mail: skoho@jcom.nagaokaut.ac.jp