

強くて軽い マグネシウム合金 安価な元素で室温加工

自動車や鉄道を軽量化すれば燃費が向上し、二酸化炭素の排出を大幅に削減できる。次世代の軽量構造材料として注目される元素がマグネシウム(Mg)だ。長岡技術科学大学工学研究院の鎌土重晴教授は、既存の鉄鋼材料やアルミニウム(Al)合金に匹敵し、室温での強度と加工性を併せ持つ画期的なマグネシウム合金を開発している。

かまど しげはる
鎌土 重晴
長岡技術科学大学 理事・副学長
工学研究院 教授
2012年よりALCA研究開発代表者

アルミニウム合金に代わる 次世代材料マグネシウム

世界に誇る高速鉄道である新幹線。長岡技術科学大学工学研究院の鎌土重晴教授が右手に持つのは、新幹線の構造材料だ(写真上)。従来のアルミニウム合金であれば2.5キログラムの重さがある構造材料を鎌土さんが軽々と持ち上げられるのは、マグネシウム合金でできているからだ。比重がアルミニウムの3分の2と、実用金属の中で最も軽い。

強度と軽さを兼ね備えるアルミニウム合金は、新幹線をはじめとした鉄道の他、自動車や航空機など輸送機器の構造材料として多用されている。さらに軽いマグネシウム合金が注目されているが、パソコンやカメラのフレームなどへ

の利用は拡大しているものの、いまだ輸送機器への応用は進んでいなかった。室温での強度や加工性の面で課題が残り、板材や棒材の作製が難しいのが理由だ。そこで鎌土さんはアルミニウム合金のように加工しやすい熱処理型展伸マグネシウム合金の開発に挑んだ。

強度の鍵はG.P.ゾーン 高速押出に成功

従来のマグネシウム合金は、主にダイカストと呼ばれる金型鋳造法で作られている。高温で溶かした合金を金型に入れ、冷やし固める方法だが、これでは十分な強度が得られない。

強度を高める加工方法には、押出成形と圧延の2通りがある。ところが既存のマグネシウム合金は加工しにくい。

押出成形の場合、マグネシウム合金の押出速度は建築用のサッシや自動車のボディに使われている6000系という中強度アルミニウム合金の半分以下で、成形に時間がかかっていた。

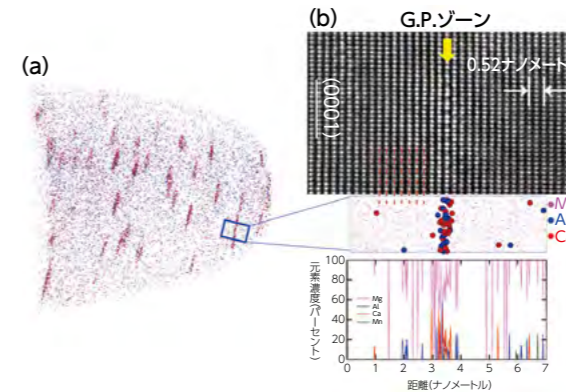
「マグネシウムの加工性が低いのは『六方最密充填構造』と呼ばれる正六角柱の結晶構造をしているからです。結晶内の面の数が限られるため、硬くてもろく、室温では変形しにくくなります」。それに対し、従来のマグネシウム合金に、微量のアルミニウム、マンガン(Mn)の他、新たにカルシウム(Ca)を加えることで、6000系アルミニウム合金に匹敵する強度と加工性が得られるようになった(図1)。

両立の鍵は、原子層レベルの薄い板状の原子集合体である「G.P.ゾーン」だ。添加したアルミニウムやカルシウムを高温で溶解すると合金の塊が作られる。これを押出成形した後、約200度の環境の中に一定時間入れる時効処理で、強度が大幅に向上する。G.P.ゾーンが合金の中に形成されるからだ(図2)。

量産を見据えて試行錯誤を繰り返す中、2013年に1分間に60メートルの速度での押出成形を成功させた。「約40年間にわたるマグネシウム合金の研究人生の中で最も嬉しい瞬間でした。

■図2

アルミニウムとカルシウムを添加し、成形後に時効処理をすることでG.P.ゾーン(黄色い矢印に沿った1原子層の面)を形成し、強度を高めることができた。(a)アトムプローブ電界イオン顕微鏡による原子分布像。(b)透過電子顕微鏡による格子像(上)と、その位置に対応するアトムプローブ像(中央)、元素濃度分布(下)。



実験ではひび割れを恐れ、1分間に10メートル、20メートルと徐々に押出速度を上げていったのですが、まだ行ける、まだ行けると続けていくうちに、最終的には60メートルを達成しました。気付けば夜中の12時を回っており、同じように夢中で実験を続けてくれた学生と喜びを分かち合いました」と、鎌土さんは当時の興奮を振り返る。

さらに、このマグネシウム合金に約200度で15~30分程度の時効処理を施すことにより、新幹線の車体に利用されているアルミニウム合金をも上回る強度を持つことを確認した。

亜鉛添加で室温加工を実現 シミュレーションも駆使

続いて、圧延加工の開発にも着手した。コストの面からも、室温で加工できることは実用化の必須条件だ。

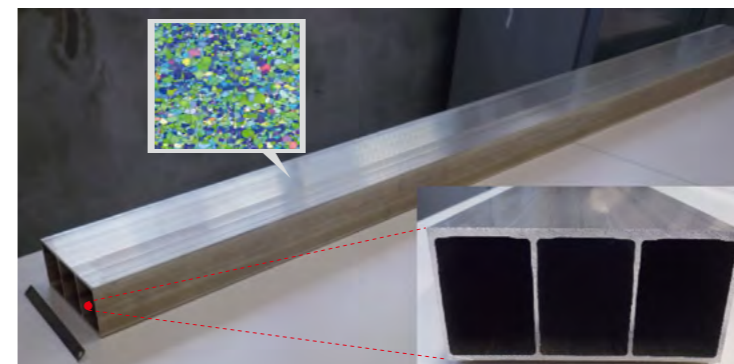
「押出成形に成功したマグネシウム合金に亜鉛(Zn)を添加したことにより結晶配向を制御し、ひび割れることなく丸く成形できることを世界で初めて確認しました」。微量の亜鉛とマンガンの添加は、従来よりも微細な結晶組織の形成を可能にし、優れた加工性を実現

した。さらに170度で20分間の時効処理を施すと強度が高まった。

レアアースのような高価な元素を添加すれば、強度と加工性を上げられることもわかってきている。しかし自動車や鉄道に応用するには、より安価であることが不可欠だ。「開発した2種類のマグネシウム合金は、いずれもありふれた元素しか使っていませんので、次世代材料として十分に汎用性が高いと考えています」。実用化に向けて自動車用の大型部材の試作にも着手している(図3)。

加える元素の配合比率を少し変えるだけで、マグネシウム合金の特性は大きく変化する。ナノ・マイクロ組織組成の予測は欠かせない。多様なコンピューターシミュレーションを駆使し、G.P.ゾーンに形成される化合物、そして形成された化合物の成長を再現したことが成果につながった。「実験結果とシミュレーション結果が一致したことで、形成された化合物を検証することができました。化合物が強度に寄与するメカニズムも原子レベルで明らかになってきました。新たにどのような元素を添加すれば性能向上に役立つかを探っていく計画です」。

今後は、押出成形や圧延により形成



■図3 自動車バンパー部材を模擬した大型中空部材の試作品。微量元素添加により、優れた加工性を得られるような微細結晶組織(吹き出し内)を形成した。結晶粒径の平均は10マイクロメートルと、従来の3分の1を達成した。

される合金の組織構造をコンピューターシミュレーションで詳細に調べていく。「どのような温度領域で加工すればよいか、どのような熱処理を施せばよいかなどが明らかになり、製造プロセスの最適化を図れると期待しています」。

東京パラリンピックの 競技用車椅子に採用

最終目標は自動車や鉄道など幅広い輸送機器への応用だ。実用化の第一歩として、2020年の東京パラリンピックのテニス競技用車椅子に、鎌土さんが開発したマグネシウム合金が採用されることが決まっている。

この車椅子は軽量で機動性が高いので、片手だけでも操作できる。マグネシウム合金は振動を吸収する能力が高いため、長時間座っていても疲労感が少ないという。しかも価格は、競技用車椅子で多用されている炭素繊維強化プラスチックに比べて10分の1という安さだ。

「2016年のリオデジャネイロ・パラリンピックでは既存のマグネシウム合金製の車椅子が使われ、車椅子テニスで日本代表が銅メダルを獲得しました。2020年が今から楽しみです」と笑顔を見せる。



Q.
好きな
元素

A. マグネシウム

やはりマグネシウムです。研究に携わったのは、恩師に「マグネシウムの研究者は他にいないから一番になれる」と勧められたのがきっかけでした。おかげでトップランナーとして研究を続けられてきたことに感謝しています。マグネシウムを表す漢字もいいですね。中国語の周期表では、マグネシウムは金偏に美しい(鎂)と書きます。

■図1 室温での加工しやすさを調べるエリクセン試験を行った。新開発合金(右)は、従来材(左)と比較して、室温でもアルミニウム合金並みに大きく加工できていることがわかる。