

パウダーメタラジーによるマイクロ組織制御を用いた マグネシウム合金の高靱性化

機械技術グループ

金属材料の高機能化には、マイクロ組織に関する強度学、熱力学、量子力学の理解を基にした技術開発が必要です。メタラジー（冶金）は、形状記憶合金、アモルファス合金、高エントロピー合金のように特異なマイクロ組織を持つ金属材料を生み出すために重要な技術要素といえます。機械技術グループでは、金属組織の制御や材料特性の複合化など、メタラジーを基にした金属材料の高機能化、高強度化に関連した技術支援を行っています。

今回は、パウダーメタラジー（粉末冶金）をマグネシウム合金に適用し、金属材料の機能や特性にとって重要なマイクロ組織を制御することにより、マグネシウム合金の特性を改善した研究の一部をご紹介します。

なぜマグネシウム合金の高靱性化なのか

マグネシウム合金の最大の魅力は、軽量性です。例えば、アルミニウム合金製部品をマグネシウム合金に置き換えると、肉厚を1.2倍にする必要がありますが、それでも約20%の軽量化を見込めます。欧州等では自動車や航空機に利用され始めていますが、日本ではまだまだ適用が進んでいません。

マグネシウム合金製部品の製造法は、主にダイカスト（金型 casting）や塑性加工が多く、加工と熱処理を併用することで高強度化を図っています。しかし、金属は硬さや強度が向上すると、靱性（粘り強さ）が低下するのが一般的で、前述の方法で製造したマグネシウム合金も少々靱性に乏しいという問題があります。

マグネシウムは他の金属と比べて歴史が浅く、その製造プロセスは発展途上であるといえます。そのため、業界からの基礎研究や長期的な課題解決の要望も根強く、製品開発だけでなく、将来を見据えた地道な探索も必要とされているのが現状です。

粉末冶金法は、金属粉末を圧力で固め（成形）、炉で焼く（焼結）ことで製品を得る方法です。鉄鋼製品（エンジン部品など）や超硬合金（切削工具など）に利用されていますが、酸化しやすいマグネシウム合金などの軽金属には不向きな方法とされてきました。今回は、焼結性に課題のあるマグネシウム合金への粉末冶金法の適用と、メタラジーにとって最も重要なマイクロ組織制御による靱性の改善についての研究成果をご紹介します。

粉末冶金法①：

一時的液相焼結によるマグネシウム合金の焼結性改善

図1は、純Mgと純Snの粉末を混合し、焼結の途中で観察したマイクロ組織です。MgにSnを添加することで、融点が高い共晶融液が焼結中に一時的に生成しており、結果的に焼結性を改善することができました。

また、図2は同じ工程で最後まで焼結したMg-Bi系合金のマイクロ組織です。結晶粒界と粒内にMg₃Bi₂相が形成され、粒内のMg₃Bi₂相は細長くランダムに分布しており、このような生成相をもたらずマイクロ組織制御によって、材質の強化が期待されます。

以上の焼結過程（液相と元素拡散）を経ることで、焼結の難しいマグネシウム合金の焼結性を改善することができました。（特許 2014-231638）

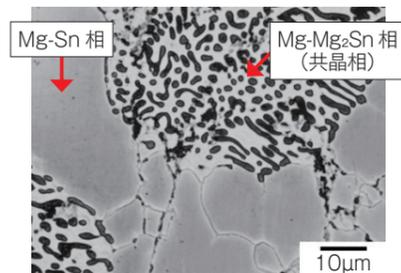


図1 Mg-Sn系の焼結中に生じた共晶組織

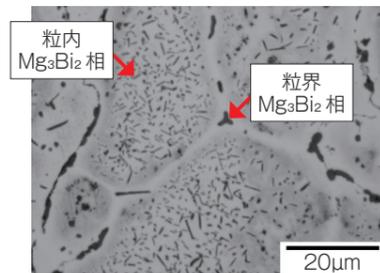


図2 Mg-Bi系粉末の焼結による粒界/粒内でのMg₃Bi₂相の形成

粉末冶金法②：

メカニカルアロイング法による晶出の過程を通らないMg₁₇Al₁₂相の形成

メカニカルアロイング（MA）法^{*1}は、粉末を強制的に混合することで、従来の溶融法による鑄造材にはない独特のマイクロ組織を持つ合金粉末を得ることができます。図3は、鑄造材とMA材のマイクロ組織の比較です。この合金は、Mg₁₇Al₁₂相を微細に分散させることで、より靱性が強化されます。MA材には非常に微細な相の分散が確認でき、MA法による均質化と焼結エネルギーによって、非平衡から平衡状態へ遷移した結果、従来法では得られない組織の合金が得られます。

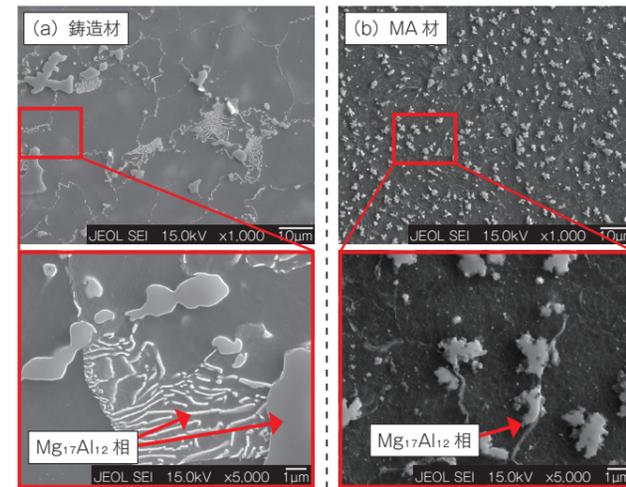
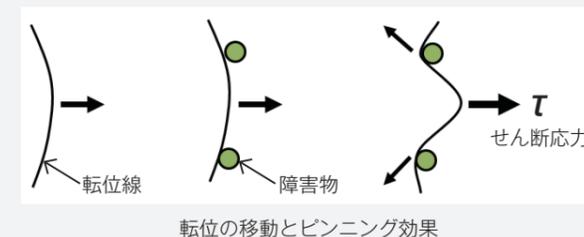


図3 Mg-Al-Zn系合金のマイクロ組織 (a) 鑄造材、(b) MA材

Key Point

マイクロ組織のピンニング効果

金属学では、塑性変形で起こる転位の運動を障害物によって妨げ、高強度をもたらすという考え方があります。その一つにピンニング効果があり、今回ご紹介したMg₃Bi₂やMg₁₇Al₁₂などがその役割を果たすと考えられます。金属はプラスチックやセラミックスに比べて転位を上手に利用できる材料で、さらなる理解と発見があるかもしれません。



粉末冶金法③：

ガスアトマイズ法によるMg-Sn-Zn系焼結合金のマイクロ組織と高靱性化

ガスアトマイズ法^{*2}により作製したSnとZn入りの微細な組織の合金粉末を焼結することで、マグネシウム合金の固溶強化、結晶粒微細化が達成されます（図4）。さらに、マイクロ組織中のMg₂Sn相の寸法を制御することによって、良好な靱性を得ることができます（図5）。（特許出願中）

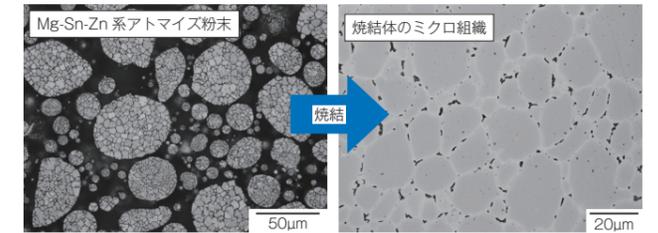


図4 Mg-Sn-Zn系焼結合金のマイクロ組織

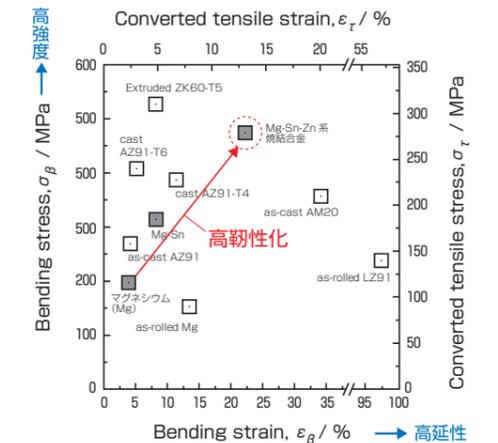


図5 Mg-Sn-Zn系焼結合金の強度と延性

粉末冶金法の将来への可能性

粉末冶金法は、鑄造法と異なり「溶けて固まる」というプロセスがほとんどありません（一部の液相焼結を除く）。そのため、これまで難しかったマイクロ組織を持つ金属材料をつくることができます。また、メタラジーを基にマイクロ組織を制御することで、さまざまな特性と機能を持つ金属材料をつくり出すこともできます。高い強度と靱性を持つ軽金属の焼結材料をつくるのが可能となったように、さらなる研究によって、新たな機能を持つ金属材料が開発されるかもしれません。

*1 メカニカルアロイング（MA）法：ボールミルを用いて材料の圧延と粉碎を繰り返すことにより機械的に合金化する方法

*2 ガスアトマイズ法：成分調整した金属の溶湯を小孔から流出させて細流とし、これに高速のアルゴンガスや水などを吹き付けることで、溶湯を飛散・凝固させて粉末とする方法