

## 第18回青葉工学会賞



## マグネシウム合金の変形組織の観察およびその組織形成過程に立脚した新機能創出

東北大学大学院工学研究科  
知能デバイス材料学専攻  
准教授 安藤 大輔

省エネルギーや高度医療などの次世代社会の実現には、これらを支える部材のさらなる高機能化が必要である。その解決には、材料レベルでの技術革新がカギであると考えられる。本稿では、次世代構造用材料として1960年代から期待され続けているが、いまだ幅広い実用化には至っていないマグネシウム(Mg)合金の低強度・低延性という問題点を解決するために著者が取り組んだ最密六方晶構造で生じる変形双晶と変形・破壊の関係性の調査、Mg合金に相変態制御という古くて新しい概念を導入し、その相安定性を制御することでMg基では達成されたことのない機能性を付与した新規材料の開発、およびその性能の極限化を組織形成過程観察に立脚して推進してきた研究について紹介する。

### ① 相安定制御によるMg合金の高機能化—超弾性・形状記憶特性の発現—

著者は、Mg合金が低変形能である原因は塑性変形中に形成される変形双晶が早期破壊に導くからだということ、双晶タイプごとの局所変形量を緻密に観察し、延性向上に働く双晶と破壊的な局所変形を生じる双晶に分類することで明確化した[1,2]。その知見から結晶構造が最密六方晶のままではMg合金の高強度・高延性化には限界があると考えに至った。また、チタン(Ti)合金は室温では最密六方晶だが、高温では結晶構造変化が生じて体心立方晶になる相変態という性質を利用して、加工熱処理プロセスによりニーズに合わせた材料組織設計が可能となる。このような相変態制御は鉄鋼材料でも古くから用いられてきた。著者は相変態制御が可能な高温と低温で結晶構造の異なるMg合金の創製を試み、Mg-Sc合金に行き着いた。この体心立方晶単相合金の変形機構を詳細に観察し、圧延のような塑性加工中に結晶構造変態することを見出した。このことから応力やひずみにより相変態するということは「超弾性・形状記憶特性」という機能性が発現するはずだと考え、信念と執念を持ち研究を進め、Mg-Sc合金がマイナス150℃という極低温下で可逆的な応力誘起マルテンサイト変態による超弾性変形することを示した[3]。過去に形状記憶合金分野でMg合金のマルテンサイト変態については議論されたことすらなく、この世界初の発見は学術的にも大きな意義を与えた。現在ではSc添加量の最適化により室温下でも超弾性を発現させることに成功[4]し、熱処理プロセスによる結晶粒粗大化制御[5]、結晶方位制御、第三元素添加[6]による相安定制御を駆使して、超弾性回復ひずみ量を8.8%まで上昇させ、既存の超弾性合金並みの性能を得ることに成功した。

### ② 相安定制御による変態誘起塑性(TRIP効果)の発現と強度—延性トレードオフの打破

上記の調査により、Sc添加量が19.5at.%を超えると通常の金属材料と同様にすべり変形し、応力誘起マルテンサイト変態による超弾性効果を示さないことがわかった。一方で、結晶粒径が微細な場合には、すべり変形により生じたひずみがマルテンサイト変態を誘起して異常な伸びを示すことを見出した。この高延性化は鉄鋼材料において劇的な高強度・高延性化をもたらした変態誘起塑性 (TRIP効果)と同様のメカニズムであると明らかにし、従来Mg合金の強度-延性トレードオフを打破する機械特性を引き出した[6,7]。本合金系は従来のMg合金に留まらず、他の合金系と比べても優れた機械特性であることがわかった(図1)。TRIP効果を示すMg合金の報告は過去になく、長年その延性の低さから次世代の金属材料と揶揄されてきたMg合金の研究に一石を投じる成果といえる。

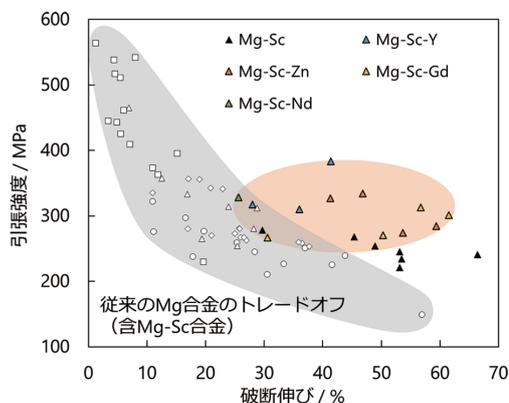


図1 従来のMg合金における強度-延性トレードオフとMg-Sc-X合金によるトレードオフの打破

- [1] D. Ando et.al; Acta Materialia, 58(2010), 4316-4324.
- [2] D. Ando et. al; Mater. Sci. Eng. A, 600(2014), 145-152.
- [3] Y. Ogawa, D. Ando et.al; Science, 353(2016), 368-370.
- [4] K. Yamagishi, Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou, J. Koike; Scripta Materialia, 168(2019),114-118.
- [5] K. Yamagishi, K. Onyam, Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou; J. Alloy. Compd., 938(2023), 168415.
- [6] K. Yamagishi, Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou; J. Alloy. Compd., 931(2023), 167507.
- [7] D. Ando et. al; J. Mater. Res. Technol., 32(2024) 2578-2583.