

徐冷焼入れした Al-Zn-Mg 合金におけるナノ組織の形成

Nanostructure formation in the slowly cooled Al-Zn-Mg alloy

名古屋工業大学 成田 麻未



アルミニウムに亜鉛およびマグネシウムを添加した Al-Zn-Mg 系合金 (7000 系アルミニウム合金) は、航空機、鉄道車両および自動車等の構造部材に適用されている。その強化機構は析出強化であり、GP ゾーンの形成および η' 相の微細析出により達成されている。Al-Zn-Mg 合金の析出過程としては、一般的には過飽和固溶体 \rightarrow GP ゾーン $\rightarrow \eta' \rightarrow \eta$ -MgZn₂ であるとされている。GP ゾーンについては、GP(I)と GP(II)の二種類があることが報告されている。GP(I)は溶体化処理温度に依存せず室温時効により生成し、393 K 以下の温度で存在する一方で、GP(II)は η' 相の前駆段階であり、723 K 以上の溶体化処理温度からの焼入れ後に 343~443 K で生成し、443 K 以上で分解する。また、GP(I)は球状であり、GP(II)は板状であるとされている。

本合金を含む熱処理型のアルミニウム合金では、通常、調質により硬化 (時効硬化) するが、溶体化処理において急速に冷却 (水焼入れ) することが要求される。しかし微量添加元素を含まない A7003 合金においては、溶体化処理温度より徐冷した際にもその後高い強度が得られることが分かっており、本合金は焼入れ感受性が低いことが分かる。過去の研究において、Al-Zn-Mg 合金の焼入れ感受性に関して、同合金に対して種々の冷却速度条件下において示差走査熱量 (DSC) 測定を実施し、溶体化処理温度から冷却した際の析出挙動を調査したり。その結果、100°C 以下での冷却温度域において、大きな発熱ピークが明瞭に認められた。これは、水焼入れに対応する速い冷却速度条件下では見られない現象であり、徐冷することによってナノ組織が形成することを裏付けるデータといえる。このナノ組織の特徴としては、球状の GP(I)が主体であり、焼入れ後の時効熱処理時に最高硬さが得られる熱処理条件においてもそれらが存在することが分かっている。GP(I)は $\langle 441 \rangle$ 方位に切頂八面体 (Truncated Cube Octahedral: TCO)の単位構造が結合した構造を持つことが明らかになっている²⁾。

本研究では、溶体化処理温度から徐冷した Al-Zn-Mg 合金のナノ組織について、3次元アトムプローブ (3DAP: 3 Dimensional Atom Probe) 法を用いて調査した。本手法は、微小領域において原子レベルの空間分解能と高い検出感度を有する。針状試料を作製後に透過型電子顕微鏡 (TEM) 内にて加熱・徐冷を施した後、3DAP 測定を実施した。3DAP 測定によって得られた原子マップより、Zn および Mg から成るクラスタが多数観察された。クラスタの平均半径: 2.7nm (体積から球を仮定して半径を算出) であり、数密度は 37.01×10^{23} 個/m³ (=クラスタ個数/解析範囲の体積) であった。クラスタ内では母相 (マトリックス) と比較して Zn および Mg が濃化しており、クラスタに含まれる Zn/Mg 比は約 2.97 であった。これらのナノ組織が強度に寄与しているものと考えられる。

【キーワード】アルミニウム合金、時効析出、組織制御

【参考文献】

- 1) C. Rowolt, B. Milkereit, A. Springer, M. Mihara-Narita, H. Yoshida, K. Yamashita, K. Oldenburg and O. Kessler, On the extraordinary low quench sensitivity of an AlZnMg alloy, *Journal of Materials Science*, 5 (2021), 20181-20196.
- 2) A. Lervik, E. Thronsen, J. Friis, C.D. Marioara, S. Wenner, A. Bendo, K. Matsuda, R. Holmestad, S.J. Andersen, Atomic structure of solute clusters in Al-Zn-Mg alloys, *Acta Materialia*, 205 (2021), 116574.
- 3) 成田麻未, 山下賢哉, 吉田英雄, 焼入れ条件を変化させた Al-Zn-Mg 合金の時効硬化特性とナノ組織, *軽金属*, 75 (2025), 74-82.