

Title	Static and Dynamic Properties of Rapidly Solidified Powder Metallurgy Magnesium Alloys : Evaluation and Simulation
Author(s)	Ayman, Hamada Abd EL Hady Elsayed
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/751
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	アイマン ハマダ アブディル ハディー エルサイエド Ayman Hamada Abd El Hady Elsayed
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24568 号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	Static and Dynamic Properties of Rapidly Solidified Powder Metallurgy Magnesium Alloys : Evaluation and Simulation (急冷凝固マグネシウム粉末合金の静的・動的強度特性とシミュレーションによる評価)
論文審査委員	(主査) 教授 近藤 勝義 (副査) 教授 箕島 弘二 教授 中田 一博 教授 片山 聖二 教授 藤井 英俊

論文内容の要旨

This research study has focused on the development of magnesium alloys which have a potential for increased structural applications through the use of the rapid solidification powder metallurgy processing. Specifically, alloys including AMX602, ZAXE1711 and ZAXE1713 have been fabricated by hot extrusion of atomized powders, which is obtained by the spinning water atomization process (SWAP). Improved performances could be obtained for these alloys when produced via rapid solidification powder metallurgy compared to their cast form. They were even proven superior to other Mg alloys and to the same Mg alloys fabricated by using the conventional ingot metallurgy route.

The hot extruded magnesium alloys have shown the evolution of favorable microstructures which contributed to their strength improvement. Another important fruit of the extrusion of Mg-alloys rapidly atomized powders was the evolution of more randomized texture compared to that of extruded cast billets. The grain refinement and the homogeneous dispersion of fine compound particles have supported the evolution of such randomized textures. The aforementioned microstructure and texture evolutions have resulted in obtaining excellent tensile, compression and hardness properties of Mg alloys fabricated by hot extrusion of the atomized powders. The Mg alloys have shown high tensile strength, which reached the level of 450 MPa for the ZAXE1711 alloy SWAP powder extruded at 573 K, while maintaining an elongation level of 17 %. Such properties are superior to other Mg alloys and conventional Al alloys. They are even comparable to the tensile properties of some steel alloys, the engineering parts of which are more than four times heavier than those of magnesium alloys, due to the difference in densities. Moreover, the randomized texture evolution of hot extruded SWAP powders of Mg alloys have resulted in a remarkable decrease in their anisotropy, especially compared to those of extruded cast billets. The yield strengths of both tensile and compression loadings of extruded SWAP powders have shown closer values to each other at various specimen orientations. ZAXE1711 alloy has shown a further decrease of the anisotropy compared to that of AMX602 alloy, which was revealed to be due to the encouragement of the texture randomization through the presence of the rare earth La element.

To provide more information on the mechanical performance of Mg alloys, the plane strain fracture toughness (K_{Ic}) of extruded AMX602 alloy has been studied. It has been shown that no valid K_{Ic} value could be obtained using the available specimen sizes, as the ductility levels of the alloy require much bigger specimens. However, the crack tip opening displacement (CTOD) values have been evaluated for the extruded alloy. Comparison of such fracture toughness parameter to those of other alloys has revealed that it showed comparable values, and also has shown its superiority in some cases.

The dynamic performances of Mg alloys have also been investigated by performing ballistic impact tests on extruded AMX602 alloy SWAP powders. The results have shown a good performance of the alloy under that severe loading condition. The prediction of the alloy behavior under such test has also been performed through its simulation by FEM method using LS-DYNA software. To accurately imitate the mechanical characteristics of the alloy, a newly developed anisotropic material model has been used. The parameters of such a model have been optimized using a procedure based on preliminary tensile, compression and bending test simulation results. The results of the above mentioned analyses have shown a good agreement between both the experimental and FEM results. This suggested the availability of the proposed material model for the accurate representation of the alloy static and dynamic characteristics.

A general view of the aforementioned results of the microstructure, texture, and mechanical properties of the Mg alloys fabricated via the hot extrusion of SWAP powders shows the remarkable improvement of these alloys. That improvement has been obtained due to the combined effects of chemical alloying, powder metallurgy processing, and the appropriate selection of the processing conditions, including consolidation and extrusion stages. It also shows how wide a field of applications Mg alloys can get.

論文審査の結果の要旨

本論文は、実用金属中で最軽量なマグネシウム (Mg) 合金に着目し、その高強靱化を目指した結晶粒微細化手法として急冷凝固法による粉末冶金プロセスを適用した Mg 合金素材の静的・動的強度特性に及ぼす組織構造ならびに集合組織の影響を明らかにするとともに、有限要素法解析を基本としたシミュレーションによる Mg 合金の高速変形挙動と実験結果との比較に基づき、微細構造組織と強度特性の関係を解明している。主な成果は下記の通りである。

1) 凝固速度 $2 \times 10^3 \text{K/s} \sim 3 \times 10^4 \text{K/s}$ の超急冷プロセスにより結晶粒径 300~500nm の微細構造組織を有する Mg 合金粉末を2段階アトマイズ法で作製し、 α -Mg 結晶粒の粗大化機構および過飽和固溶元素の析出による金属間化合物の生成挙動に及ぼす熱処理温度の影響に関して、示差熱量分析、X線回折、SEM-EDS 分析により調査・解析している。特に、合金の延性低下を誘発する金属間化合物 Al_2Ca 、 $\text{Al}_{11}\text{La}_3$ および Al_6Mn の析出を抑制するために有効な熱処理温度の適正化が必要であることを明らかにしている。

2) Mg-Al-Ca 系難燃性 Mg 合金において、適正な熱処理条件下で Mg 合金粉末を成形固化することで動的再結晶後の α -Mg 結晶粒は 400~500nm といった微細な組織を維持し、従来の鑄造プロセスで得られる組織の 1/50~1/200 以下となると同時に、微細かつ均質な化合物の析出形態を有する組織制御に成功している。

3) EBSD による方位解析の結果、急冷凝固粉末を出発原料とした Mg 合金において、集合組織は無秩序化しており、他方、鑄造法を用いた Mg 合金押出材では、不完全な動的再結晶組織を含むことで強い底面集合組織を呈することを明らかにしている。また、このような無秩序化した集合組織は、押出材における機械的特性の異方性を解消することに寄与しており、特に、引張耐力と圧縮耐力の比率が 1 に近づくことで等方的な力学特性の発現に有効であることを明らかにしている。

4) Mg-Al-Zn-Ca-La 系 Mg 合金において、引張強さは 420~450MPa と汎用 Mg 合金の 1.7~2 倍程度の高強度特性を有し、また破断伸びは 17~18% であり十分な延性を示している。このような顕著な高強度・高延性発現の主要因は、300~500nm 程度の微細な動的 α -Mg 結晶粒の形成とそのランダム配向性 (集合組織は無秩序化) であることを確認している。また、異なる焼結固化条件のもとで作製した Mg 合金の力学特性を評価した結果、引張耐力値は平均結晶粒径の -0.5 乗に比例する、いわゆる Hall-Petch の経験式で整理できることから、析出化合物の分散強化に比べて結晶粒微

細化が強化支配因子であることを示している。

5) Hill-yield function model を加えた FEM により圧縮・引張応力下での Mg 合金の変形挙動をシミュレーションにより解析し、それらの結果と実験値との整合性を明らかにするとともに、歪速度を変化させた場合の Mg 合金の高速衝撃変形機構に関しても同解析法によって定量的に解析できることを明らかにしている。

以上のように、本研究では、マグネシウム合金の組織構造および集合組織を制御することで、高強度-高延性バランスと力学特性の異方性改善を実現するとともに、有限要素法解析によって Mg 合金の高速変形挙動を定量的に解析することに成功しており、本論文においては、多くの新規かつ重要な知見を明らかにしている。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。