

等軸結晶粒からなる純マグネシウムの超高速衝撃荷重下における組織変化

藤田直輝（神戸大・院），長谷川直（JAXA），中辻竜也（神戸大・工）
池尾直子（神戸大・工），佐藤英一（JAXA），向井敏司（神戸大・工）

1. 研究目的

実用金属中で最軽量であるマグネシウムは結晶構造が六方晶であることに起因して、強度及び変形応答に強い異方性が発現する。また、マグネシウムを低温で変形させた場合の変形応答は、常温で変形させた場合と比較して大きな差異を生じる。これは、変形メカニズムが熱活性化過程で一義的に表現できないことを意味している。本研究の課題では、マグネシウムに超高速で変形を付与し、形成される組織の観察を通じて、六方晶金属であるマグネシウムの高速変形メカニズムを明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

本研究では、超高速衝突試験を行うために宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いた。ここでは、一段目に圧縮ガスとして水素を、飛翔体として直径 1.0mm のアルミナ球を用いた。飛翔体の衝突速度は 7 km/s で行い、温度条件を室温と低温の二条件とした。低温条件では、液体窒素により -100°C 程度まで冷却した後に試験を行った。ターゲット材料は純マグネシウムとした。今回は初期内部組織の影響を観察するために、内部組織の異なった 3 種類の純マグネシウムを用意した。連続 casting 材・押出材熱処理材 1・押出材熱処理材 2 の三種類で、押出材熱処理材 1・2 は同じ押出材をそれぞれ 200°C -4h と 400°C -16h の二条件で熱処理したものである。衝突の様子は高速ビデオカメラで撮影し、試験後の材料の観察にはマイクロ X 線 CT および SEM/EBSD を用いた。また、粒子計算法の一種である SPH 法を用いた解析も行い、変形応答現象を考察した。

3. 実験結果

(1) 内部組織変化

SEM/EBSD 観察によりクレーター周辺の内部組織観察を行った。SEM/EBSD によりクレーター直下の組織を観察すると、三種類の材料すべてにおいて平均結晶粒径が数 μm の微細結晶粒組織を確認した。さらに、ひずみ分布を示す Kernel average misorientation (KAM) map からクレーター周辺の組織はひずみが少ないことが分かった。SPH 法によるシミュレーションから、衝突時にクレーター周辺の温度が融点を超えていることが示された。また、クレーター周辺にひずみが 0.4 を超える領域が存在していることが確認された。このことから、クレーター周辺では衝突時に発生した高い熱エネルギーとひずみエネルギーにより、動的再結晶が発現し、ひずみの少ない微細結晶粒組織が形成されたことが示唆された。

(2) 亀裂進展

マイクロ X 線 CT による非破壊検査により、衝突後のクレーター形状、破壊形態を観察した。Fig. 1 に低温条件で衝撃荷重を負荷した試験片の断面図を示す。低温条件の試験片は室温条件と比べ亀裂が多いことが分かった。また、連続鋳造材試験片では亀裂が鋳造方向に進展しているのに対し、押し出し材熱処理材では亀裂がクレーターから放射状に進展していた。このことから内部組織によって亀裂の進展経路が異なることが分かった。次に、SEM/EBSD を用いて亀裂周辺の組織を観察した。例として、Fig. 2 に押し出材 400°C 熱処理材の亀裂周辺の Inverse Pole Figure マップ (以下 IPF マップ) を示す。IPF マップより、今回用意した材料の全てについて、亀裂は粒界を進展していることが確認された。このことから、初期結晶組織が異なるため、連続鋳造材と押し出材熱処理材の亀裂進展の違いが発生したものと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた超高速衝突試験によるマグネシウムの変形応答解析の成果を以下に示す。

(1) SPH 法によるマグネシウムの超高速衝突シミュレーションでは、クレーター周辺に高温度、高ひずみ領域が形成されることを確認した。また、マグネシウムに対して超高速衝突が生じた後の内部組織には、微細結晶粒が形成されていることを確認した。シミュレーションの結果から、高い熱エネルギーとひずみエネルギーに起因する動的再結晶によることが示唆された。

(2) CT 画像より、亀裂の進展が初期結晶組織によって異なることが示された。また、亀裂周辺の組織観察から亀裂は粒界に沿って進展していることが示された。このことから、結晶粒界を強化する組織学的因子を導入することで亀裂進展が抑制されることが示唆された。

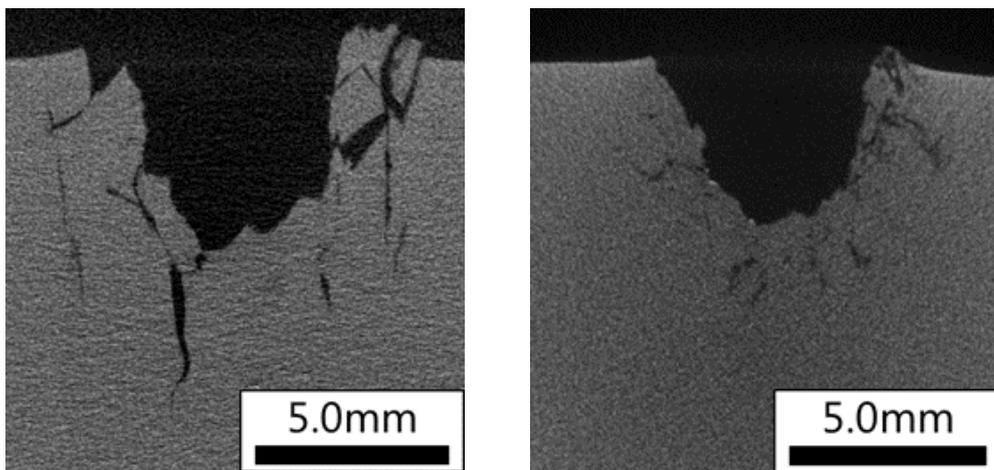


Fig.1 CT images of specimens.

(left: magnesium DC-casted, right: magnesium extrusion followed by annealing@400°C)

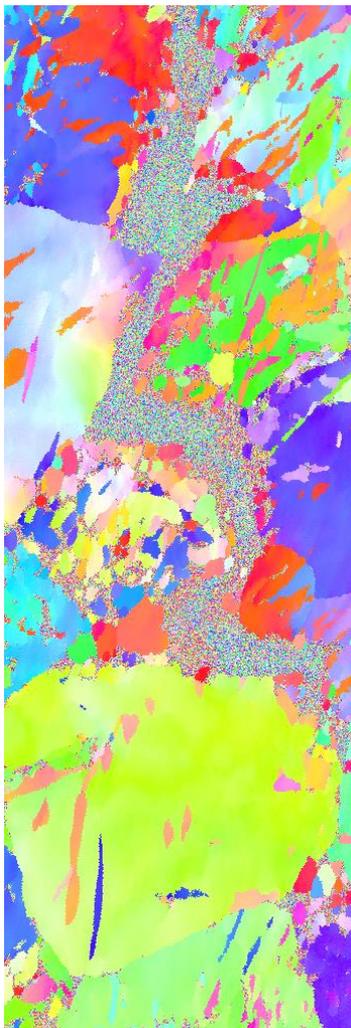


Fig. 2 Microstructure around a crack path in magnesium extrusion followed by annealing at 400°C.