

超高速衝突試験によるマグネシウムの動的変形応答解析

向井敏司 (神戸大学), 矢野尊彦, 池尾直子
佐藤英一 (JAXA)

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、強度およ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・低速で変形させた場合の変形応答は、常温・高速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。本研究課題では、マグネシウムに超高速度で変形を付与し、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。また、高延性を示すことが知られている Mg-Y 合金についても同様の試験を行い、溶質原子が双晶界面や結晶粒界に及ぼす物理的効果を検証することを第二の目的とした。

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、一段目の圧縮ガスとして水素を、飛翔体として直径 1 mm のアルミナ球を用いた。飛翔体の衝突速度は 3 km/s と 7 km/s の 2 条件とした。ターゲット材料として、厚さ 10 mm, 15mm の純マグネシウム casting material (以降では Pure-Mg) および厚さ 5 mm の Mg-1.0Y 押出材(以降では Mg-Y)を用いた。衝突試験の様子は高速度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。

3. 実験結果

(1) アルミナ球の超高速衝突に対する純マグネシウムの変形応答

Pure-Mg の試験中に撮影された高速度ビデオカメラの映像から、アルミナ球の衝突時に数 mm 程度のフレーク状フラグメントが飛散していることを確認した。試験後の材料について、マイクロ X 線 CT により材料内部の観察を行った。得られた Pure-Mg の X 線 CT 画像例を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より、試験速度が上昇するとクレーターのサイズは大きくなり、クレーター周辺により多くの亀裂が形成していることが確認できる。

衝突速度 3.136 km/s にてマグネシウム中で発現する変形メカニズムを調査するため、試験片のクレーター周辺断面について SEM/EBSD を用いて観察した。得られた IPF(inverse pole figure)マップと IQ(image quality)マップより、クレーター付近の結晶粒内にグラデーションが見られたことから、亜結晶粒が形成されていることがわかった。特に、クレーターに近い領域では結晶粒が微細化されており、動的再結晶が発現していることが確認された。このことから、クレーター付近では、アルミナ球の衝突時に大きなひずみが生じると

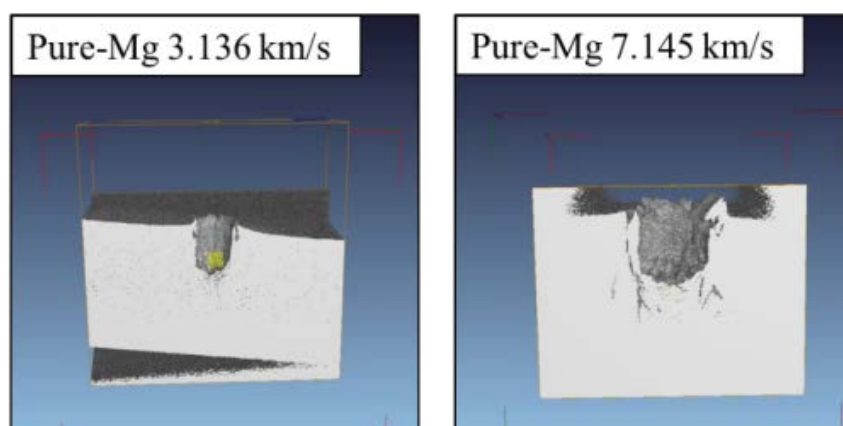


Fig. 1 3D images of Pure-Mg plate after hypervelocity impact.

ともに運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、材料内部で動的回復が生じたものと推察された。

一方、亀裂の進展経路を確認したところ、亀裂は粒界に沿って進展していることが確認された。したがって、高速度ビデオカメラで確認されたフレーク状のフラグメントは、粒界に沿って割れた後に生じた破片であると考えられる。また、亀裂先端付近の EBSD 観察により、結晶粒内に帯状組織が確認されていることを確認した。方位差解析により、観察された帯状組織は $\{10\bar{1}2\}$ 双晶であることが明らかになった。このことから、亀裂の先端付近では $\{10\bar{1}2\}$ 双晶の発現により応力集中が緩和されたものと考えられた。

(2) イットリウム添加による変形応答の変化

Mg-Yについても Pure-Mg と同様に衝突試験後の試験片についてマイクロ X 線 CT を用いて観察した。得られた X 線 CT 画像の例を Fig.3 に示す。Pure-Mg の X 線 CT 画像と比較すると、Mg-Y ではクレーター近傍で亀裂が形成されていないことがわかる。以上のことから、マグネシウムにイットリウムを添加することで粒界における界面強度が高くなり、亀裂進展を抑制する効果があることが示唆された。このことは、イットリウム添加により、マグネシウムの粒界凝集エネルギーが高くなることを示す第一原理計算の報告例とよく一致している。

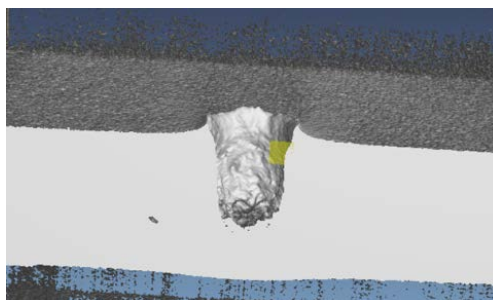


Fig. 2 3D images of Mg-Y alloy plate after hypervelocity impact at 3.605 km/s.