

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 李 云平 (Yunping Li)

本論文は、アコースティック・エミッション (AE) 法を用いて純マグネシウムおよびマグネシウム合金の変形挙動、擬弾性挙動、双晶挙動を定量的に解析したものであり、全7章より構成されている。

第1章は序論であり、純マグネシウムおよびマグネシウム合金の変形過程における双晶挙動、擬弾性特性に関するこれまでの研究結果をまとめ、従来の研究の問題点を明らかにすることにより研究目的を明確にしている。また、材料内部における動的な力学的挙動を定量的に解析する手法として、純マグネシウムおよびそれらの合金における変形と擬弾性の解析に対して AE 法を適用することを述べている。

第2章では、我々の研究グループで開発した連続波形計測可能な AE 計測装置を用いて、純マグネシウムおよびそれらの合金の圧縮試験の際の AE 計測を行っている。一度圧縮した試料を異なった温度で熱処理し、試料を再び圧縮した際の AE 挙動を解析することにより、純マグネシウムの変形過程における AE 信号は主に双晶活動によるものであると結論している。また、変形過程における微視組織の変化から双晶ひずみと双晶ひずみの増加率を測定することにより、変形過程の初期における双晶ひずみと累積 AE カウントの定量的な関係を得ている。さらに、高ひずみ領域における観察されるスパイク状の AE 信号が、合金元素の添加による PLC 効果と関係することを述べている。

第3章では、異なる粒径をもつ純マグネシウムを用いて、ひずみ速度や圧縮方向を変化させることにより、変形過程における双晶挙動と AE 信号の関係について検討している。異なる条件で圧縮された場合でも、ひずみと双晶密度の関係が同一の式に従うことを明らかにしている。また双晶ひずみと累積 AE カウントが一つ式で整理できることを示している。双晶密度および双晶ひずみと累積 AE カウントの関係を示すパラメータ ε_0 , β , k および P を比較することにより、これらのパラメータの変化と変形メカニズムの関係を検討している。

第4章では、繰り返し圧縮・除荷試験を行い、その際の回復ひずみと AE 挙動を計測することにより、擬弾性挙動を定量的に解析している。速い除荷速度を用いることにより、弾性回復ひずみと非弾性回復ひずみを分けて求めている。低い変形ひずみにおいて、非弾性回復過程における累積 AE カウントの三乗根と非弾性回復ひずみの直線関係であることを見出している。また、圧縮および非弾性回復過程における AE 信号の周波数解析によって、圧縮における転位移動による AE と双晶形成あるいは消失による AE を区別することに成功している。さらに、双晶消失過程のモデルを提案し、このモデルから計算される結果が実験結果と良く一致すると結論している。

第5章では、異なる粒径の純マグネシウムを高いひずみ (7%以上) まで繰り返し圧縮する場合の非弾性回復挙動、および異なる方向に圧縮する場合の非弾性回復挙動を解析している。純マグネシウムの非弾性回復過程において、AE 挙動の解析からひずみの程度により三つの回復段階があることを見出し、それぞれ $\{10\bar{1}2\}$ 双晶消失、転位による回復、および高いエネルギーを持つ他の双晶消失過程に対応していると述べている。これらの回復過程は粒径に強く依存していることも明らかにしている。さらに、粒径が異なる場合でも第4章で述べたように非弾性回復ひずみと累積 AE カウントの三乗根は比例し、その傾きが Hall-Petch の式のように粒径の $1/2$ 乗に反比例することを明らかにしている。これらの関係を用いて、非弾性回復過程における双晶消失によるひずみと転位によるひずみを分けることに成功している。また、異なる方向に圧縮する場合、圧縮

方向が押し出し方向と垂直の場合には、回復過程における AE 信号強度が高くまた非弾性回復ひずみも大きく、双晶の消失が容易であると結論している。

第6章では、非弾性回復過程における、繰返しの際のひずみ履歴、ひずみ制御での繰返し、およびひずみ速度の効果について検討している。まず、非弾性回復ひずみはひずみ履歴によらないことを明らかにしている。また、ひずみ制御での繰返しにより、累積 AE カウントおよび非弾性回復ひずみが減少するとともに、荷重曲線のヒステリシスの収縮および負荷応力の減少が生じることを明らかにしており、これらは双晶消失過程の変化によるものであると結論している。また、異なるひずみ速度においても非弾性回復ひずみはほぼ同じであるが、ひずみ速度が速いほど双晶消失過程による割合が高くなることを明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文の成果についてのまとめを行っている。本論文では純マグネシウムおよびマグネシウム合金の変形過程と擬弾性挙動が強く関係していることを示すとともに、AE 計測を行うことにより、変形過程および擬弾性挙動を定量的に解析できたことを述べている。

以上、本論文はこれまでに必ずしも明らかでなかった純マグネシウムおよびマグネシウム合金の擬弾性挙動を定量的に解明する手法の開発を進めたものであり、得られた結果および提案された理論は疲労や繰返し変形を受ける実際の製品の材料設計に用いることが可能であり、さらにこの手法は擬弾性特性を持つ他の材料の擬弾性挙動の解明にも応用可能であり、マテリアル工学の発展への寄与が大きいと判断できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。