

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	上田 亮
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 志澤 一之			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 小茂鳥 潤			
慶應義塾大学専任講師 博士(情報科学) 大家 哲朗			
慶應義塾大学教授 工学博士 鈴木 哲也			
(論文審査の要旨) 学士(工学), 修士(工学) 上田亮君の学位請求論文は「Mg 基 LPSO 相におけるキンク帯形成に関する高次応力を考慮した転位-結晶塑性 FEM 解析」と題し, 8 章から構成されている。 長周期積層構造 (LPSO: Long-Period Stacking Ordered) 相を強化相とするマグネシウム合金は軽量, 高強度, 高耐熱性などの優れた特性を有するため, この合金を輸送機器の構造材料に使用することは地球温暖化対策の有力な一手法になり得ると言われている。特に LPSO 相におけるキンク帯形成は材料強化の主因と考えられており, その形成機構の解明に期待が寄せられている。しかしながら, 従来の転位-結晶塑性モデルに基づいたキンク帯形成に関する FEM 解析では, 解析結果に顕著なメッシュ依存性が現れるため, キンク帯におけるすべりや方位などの諸量を定量的に評価するうえで望ましくない。これに対して, ひずみこう配にエネルギー共役な高次応力を考慮した理論では, 構成式に非局所性が導入されるため変形のメッシュ依存性が軽減される。そこで本研究では, 高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを構築し, LPSO 相におけるキンク帯形成のマルチスケール FEM 解析を実施することで, 本モデルの妥当性および有用性を示している。 第 1 章は緒言であり, 本研究の社会的背景および本論文の意義について述べている。 第 2 章では運動学について述べており, 大変形結晶塑性論に適するよう, GN(Geometrically Necessary) 転位および SS(Statistically Stored) 転位の発展式をそれぞれすべり速度こう配およびすべり速度に対応する量として定義している。 第 3 章では, 釣合法則(仮想仕事の原理)の定式化を介して, 高次応力の発散が背応力に等しいことを示している。また, エントロピー増大則に基づいて応力および高次応力の構成式の一般形を導出している。 第 4 章では, 速度形の弾粘塑性構成式および高次応力の構成式を熱力学的に導出し, 高次応力には GN 転位の分布に関連した特性長が含まれることを示している。また, SS 転位密度の表現をすべり面の曲率依存形に拡張することで硬化則を高次理論に適する形に修正している。さらに, 本モデルに対する従来の転位-結晶塑性モデルの位置づけを説明している。 第 5 章では, 増分形構成式の適用を容易にするため, 上述の仮想仕事の原理を速度形に拡張している。また, 高次応力に対する境界条件が GN 転位密度の境界条件に対応することを示している。 第 6 章では, 支配方程式系の離散化について述べるとともに, 数値計算の低コスト化および安定化を実現するための手法を導入している。 第 7 章では, 本モデルを用いた Mg 基 LPSO 相に対する FEM 解析の結果およびその考察について述べている。まず, 短冊状の単結晶に対する解析を行い, キンク帯形成のメッシュ依存性が大幅に軽減されることを示している。また, キンク帯の幅が特性長によって決定されることを述べるとともに, 本モデルにより寸法効果を表現可能なことを明らかにしている。続いて, 多結晶に対する解析を実施し, 粒界においてすべり拘束の境界条件を用いる場合, GN 転位蓄積にともなう背応力場の形成によって公称応力が増加すること, ならびに粒界付近においては非底面系の活動が盛んになることを言及している。最後に, キンク帯を特徴づける回位四重極構造の表現方法について述べ, すべりの不適合度を用いて回位密度分布を簡易的に表現できることを示している。 第 8 章は結言であり, 本研究で得られた知見を要約している。 以上要するに本研究では, 高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを構築し, それを用いて大変形 FEM 解析を行うことで Mg 基 LPSO 相におけるキンク帯形成および寸法依存性を精度よく再現しており, 非線形固体力学および計算材料科学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第 2 (マルチディシプリナリ・デザイン科学専修) 科目担当で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また, 語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。		