

長周期積層構造型マグネシウム合金のキンク変形に関する研究

徳澄, 翼

<https://hdl.handle.net/2324/7182504>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 徳澄 翼

Name

論文名 : 長周期積層構造型マグネシウム合金のキンク変形に関する研究

Title

区 分 : 甲

Category

論文内容の要旨

Thesis Summary

実用金属の中で最も密度の小さいマグネシウムを主成分とするマグネシウム合金は輸送機器の構造材料として期待されながらも機械的性質の問題等から使用されていない。そのような中、2001年に610 MPaの引張降伏強さと5%の伸びを併せ持つ高強度高耐熱マグネシウム合金が開発された。その後の研究で、開発されたマグネシウム合金は、周期的な積層構造変調と添加元素の濃化が同期した長周期積層構造を有していることが明らかになった。そのため、本合金は長周期積層構造型マグネシウム合金と呼ばれる。

長周期積層構造型マグネシウム合金は casting までは、その降伏強度は従来のマグネシウム合金と同等程度である。しかし、塑性加工を施された長周期積層構造型マグネシウム合金では、降伏強度が従来の材料強化理論では説明できないほど、劇的に向上することが報告されている。この優れた材料強度は、塑性加工によって、長周期積層構造型マグネシウム合金内にキンク変形が生じた結果として形成されたキンクによってもたらされると理解されている。キンクによる材料強化現象(「キンク強化」)は、長周期積層構造型マグネシウム合金で初めて確認され、近年新しい材料強化法として大きな注目を集めている。しかし、キンク強化に関しては、キンクの形成過程や強化機構等、不明な点が多い。

本論文では、長周期積層構造型マグネシウム合金において生じるキンク変形の学理構築を目的として、長周期積層構造型マグネシウム合金を用いて、力学試験と微細組織観察を組み合わせを行い、「キンクの形成過程(第3章)」、「キンクの三次元形態(第4章)」および「キンク強化機構(第5章)」を調査し、得られた結果からキンクの形成過程と強化機構について議論した。

第1章では、長周期積層構造型マグネシウム合金の特徴と、既存の材料強化機構について概説した。また、キンク変形が生じる材料の特徴を述べ、本研究の背景、研究目的および本論文の構成を述べた。

第2章では、本論文における実験方法をまとめた。

第3章では、長周期積層構造型マグネシウム合金を用いて、SEM内その場圧縮試験を行い、キンクの形成過程について調査した。その結果、リッジキンクの形成には、前駆段階として、表面起伏を伴わない結晶方位回転領域であるプレキンクが生じることが明らかになった。また、プレキンクの発達は、それぞれの変形領域が順序を持って発達することを明らかにした。さらに、プレキンクを圧縮した状態と除荷した状態の結晶方位回転を比較したところ、プレキンクは一部可逆的な挙動を示し、先行研究で提案されたキンク形成モデルに類似した特徴を有していることが、実験的に明らかにされた。

第4章では、第3章にて発見されたプレキンクとリッジキンクに対し、レーザー顕微鏡観察とシリアルセクション観察を実施し、キンクの三次元形態について調査した。レーザー顕微鏡観察の結果、リッジキンクの表面起伏が平坦な面の接続で構成されているのに対し、プレキンクのそれは全体がなだらかに湾曲していた。また、その高さはリッジキンクとプレキンクでそれぞれおよそ2.0 μm と0.5 μm であった。シリアルセクション観察から得られた結果より、回位のペアの移動によってキンクが形成するという新たなモデルを提案した。さらに、高角度分解能を有するEBSD測定を実施することで、キンク周囲に回位が存在することを、実験的に証明することに成功した。

第5章では、キンク強化機構について議論するために、変形の際の組織変化に着目して、電子顕微鏡による

微細組織観察を実施した。また、キンクによる強化量と延性を定量評価するために、微小引張試験を実施した。走査電子顕微鏡観察の結果、本研究で用いた長周期積層構造型マグネシウム合金では、非底面すべりが生じるものの、それは α 成分を含まないものであること、プレキンクとリッジキンクにより底面すべりが効果的に抑制されている様子(すなわち、キンク強化の実験的証拠)、リッジキンク近傍には互いに逆方向のせん断ひずみの発達が優先的に集中することが明らかになった。透過電子顕微鏡観察の結果、キンク/母相界面の両側に特徴的な転位のパイルアップが観察された。また、せん断ひずみの発達は、二次キンクの形成に起因するものであることが明らかになった。微小引張試験の結果、キンク強化現象が明確に確認され、1つのキンクにより、降伏応力が約 5 MPa、最大引張応力が 15 MPa 向上しており、さらに、延性も向上することが明らかになった。

第 6 章では、本研究で得られた結果をまとめた。