

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Mg-Zn-Y合金におけるキンク組織とそれによる強化機構に関する研究
Title(English)	Study on kink microstructure and its strengthening mechanism in Mg-Zn-Y alloy
著者(和文)	松村隆太郎
Author(English)	Ryutaro Matsumura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12545号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:稲邑 朋也,藤居 俊之,曾根 正人,中田 伸生,田原 正樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12545号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

Mg-Zn-Y 合金におけるキンク組織とそれによる強化機構に関する研究

Study on kink microstructure and its strengthening mechanism in Mg-Zn-Y alloy

著者名：松村 隆太郎

第一章 緒言

構造材料用途として期待されている Mg-Zn-Y 合金は、高い比強度を有している。この高強度はキンクによってもたらされており、キンク強化機構として近年注目を浴びている。Mg-Zn-Y 合金を実用化させるためには、キンク強化機構を明らかにしなければならない。まず、幾何学的な観点から過去の研究を概観することにより、下記の 3 つの強化機構の仮説を立てた。1. キンク界面によるすべり変形の阻害による強化、2. 外力に逆らったせん断が働いたキンクバンドの存在による強化、3. 回位の存在による強化。本研究では、キンク組織による幾何学的な強化機構を明らかにすることを目的とし、rank-1 接続を用いたキンクの幾何学的解析と電子顕微鏡を用いてキンク組織の観察を行った。

第二章 rank-1 接続を用いたキンクの三次元形態の解析

複数の底面すべりが活動した場合のキンク組織の三次元形態の幾何学を rank-1 接続を用いて解析した。その結果、キンクバンド同士が結合すると楔回位が形成されることを明らかにし、複数の底面すべりが活動した場合でも楔回位どうしによる回位対消滅が可能であることを明らかにした。さらに、キンクバンドで活動する底面すべりのすべり方向が変化すると、キンクの三次元形態は大きく変化することを明らかにした。すべり方向が 0° 付近、 180° 付近の範囲では、回位の弾性エネルギーの変化は鈍感であるのに対し、形態の変化は敏感であった (図 1)。これは、主たる底面すべり変形に第 2、第 3 の底面すべりがわずかに加わるだけでキンク界面の法線は大きく変化することを意味している。これは、理論と実験によるキンク界面の方位の比較は、単一の底面すべりが活動したキンクバンドで行われる必要があることを示している。また、キンクの三次元形態は、底面すべりのせん断量とすべり方向の区分的な微小変化によって形成されるキンクが回位を介して結合し、列をなしたものであることを示した (図 2)。

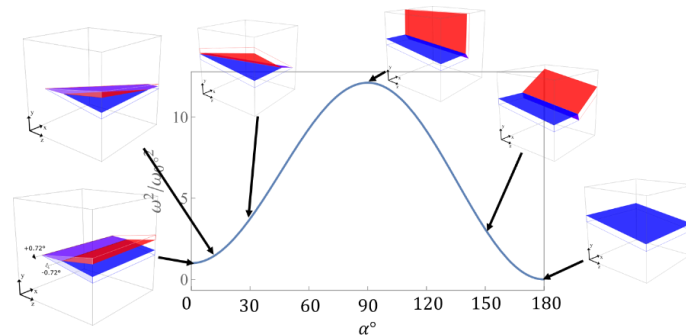


図 1 キンクの三次元形態のすべり方向依存性

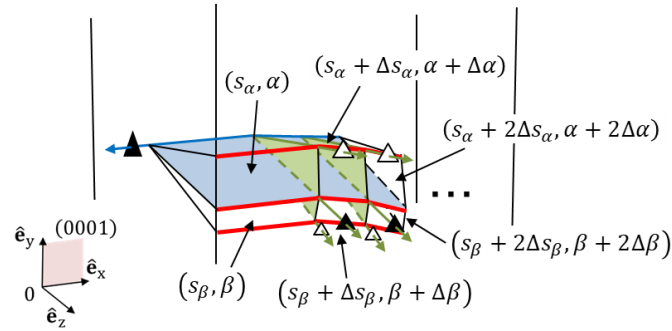


図2 キンクの三次元形態の模式図

第三章 rank-1 接続によるキンクの幾何学解析の妥当性の検証

キンクの変形の幾何学を rank-1 接続によって記述することの妥当性を示すために、第二章の結果を踏まえて、Mg-Zn-Y 合金で形成されたキンクバンドを電子後方散乱回折(EBSD)測定を用いた二面トレース解析を行うことでキンク界面の法線を決定し、rank-1 接続から予測されるキンク界面の法線と比較した。単一の底面すべりが働いたキンクバンドでは、二面トレース解析から得られたキンク界面の法線と理論解析から予測されるキンク界面の法線は 7° 以内で一致した(図3)。Rank-1 接続で記述したキンクは実験とよく一致していた。本研究により rank-1 接続によるキンクの幾何学解析は妥当であることが示された。

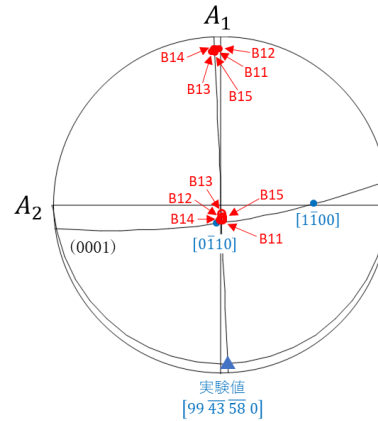


図3 理論解析によるキンク界面の方位と実験によるキンク界面の方位の比較結果

第三章 せん断されたキンク界面の変形の幾何学

キンク界面がすべり変形によってせん断された際に生じる幾何学的な強化機構の存在を示すために、rank-1 接続を用いてキンクバンドにせん断帯が交差したときの交差部の変形の幾何学を解析した。せん断帯がキンクバンドに衝突すると、変形の連続性を保つためには、せん断帯とキンク界面の交差部に新たに回位が必ず形成され、キンク界面は一般には移動(連携変形)することを明らかにした(図4)。回位が形成され、連携変形が発生するためには、それぞれ外部から弾性エネルギーと塑性仕事に相当する仕事が生供給されなければならない。

そのため、回位の弾性エネルギーと連携変形の塑性仕事は変形抵抗として捉えられる。すなわち、回位と連携変形は強化機構として機能することを意味している。また、キンク界面に交差する底面すべりによる変形過程には、強い幾何学的拘束が課され、その結果、連携変形が抑制される状況も存在することを明らかにした。これらの解析結果から、キンク界面がすべり変形に対して強化機構として働いていることが示された。

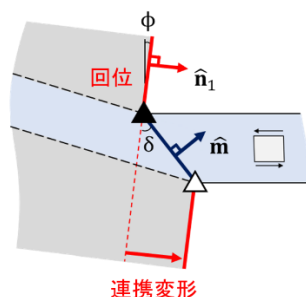


図4 せん断されたキンク界面で生じる回位と連携変形

第四章 せん断されたキンク組織の変形の幾何学

キンクバンド同士の協調的な変形による外力に逆らったせん断が一部のキンクバンドに生じることを実験により実証するために、Mg-Zn-Y 合金の一方向凝固材(DS)材において、予め変形によって形成させたキンク組織をすべり変形させ、EBSD 測定による結晶方位解析と集束イオンビーム(FIB)を用いたメッシュ痕の加工により、変形前後の各キンクバンドの結晶方位の変化と各キンクバンドで作動した底面すべりの方向・量を解析した。その結果、外力によるせん断方向とは逆向きのせん断が一部のキンクバンドで働き、生じたせん断に従って結晶方位差も変化するキンクバンドが存在することを明らかにした(図5)。これは、結合しあったキンクバンドの協調的な変形が発生することを捉えたものであると推測される。こうした外力に逆らったせん断がキンクバンドに働くためには、局所的な応力集中を必要とし、外部から余分な仕事を供給する必要がある。すなわち、こうしたキンクバンドは変形応力の上昇をもたらすと考えられる。本研究により、外力に逆らったせん断が働いたキンクバンドが存在することを明らかにし、強化機構として働くことを示した。

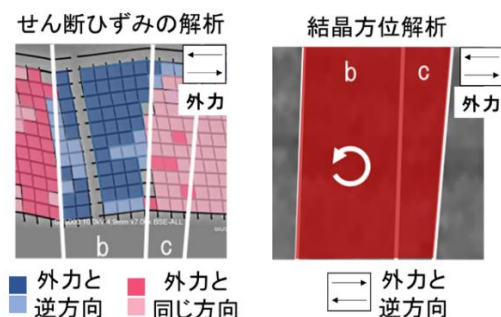


図5 外力に逆らったせん断が働いたキンクバンドの存在

第五章 総括

以上を総括するならば、キンク組織の幾何学解析から幾何学的な強化として以下の機構が挙げられる。

1. キンクバンドせん断された際に発生する回位と連携変形,
2. 外力に逆らったせん断変形が働いたキンクバンドの存在.

本研究により、これらの幾何学的な強化機構が、キンク強化機構の一部として存在する可能性があることが示された。