

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号： 11301
研究種目： 奨励研究
研究期間： 2021 ~ 2021
課題番号： 21H04081
研究課題名 磁場・振動を利用した新規応力測定法の開発

研究代表者

千葉 雅樹 (Chiba, Masaki)

東北大学・多元物質科学研究所・技術一般職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 470,000 円

研究成果の概要：本研究では磁場と応力の関係性を調べるため、Fe-Ga合金単結晶を圧延し、磁歪に及ぼす影響を調べた。圧下率が高いほど結晶方位が広がり、ひずみが多く導入されていた。また、圧下率が高いほど磁化・磁歪が小さくなったことがわかった(397 kA/mの磁場を印加)。塑性ひずみ導入により磁区が細分化し、磁壁の移動が阻害されたためだと考えられる。cos 法を用いて、応力測定を行った(280 kA/mの磁場を印加)。磁場印加時で磁場印加方向の圧縮応力が減少し、磁場印加方向と垂直の方向の圧縮応力が増加していることがわかった。これは、磁場により試料の体積変化が生じ、内部の応力状態が変化していることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではX線回折装置(XRD)で極点図、応力測定を行い、電子線後方散乱回折装置(EBSD)で試料表面のひずみ状態を可視化し、振動試料型磁力計(VSM)で磁化測定、磁歪測定を行った。多面的な手法を用いて磁性材料の力学的なメカニズムを評価することができた。これらの手法を用いることにより、応力・ひずみの変化を実測値だけでなく、結晶方位や磁区構造といった見地から評価することができる。そのため応力評価技術の深化を図ることができ、学術的・社会的に意義があると考えられる。

研究分野：金属材料学

キーワード：X線応力測定 極点図測定 ひずみ測定

1. 研究の目的

大規模建造物に使用されている鉄基構造材料は、複雑な応力存在下で使用されている。応力は材料の破壊に影響を与えており、安全性評価のために非破壊で高精度な応力・ひずみ測定法の確立が求められている。

強磁性の鉄基合金の磁氣的性質は、塑性変形によって影響されることがある。これは塑性変形で導入される転位が、弾性的なひずみ場や応力場をもっているためである。塑性変形で導入されたひずみ場や磁気ひずみ(磁歪)の性質は、結晶方位依存性を示すため、それらの関係性を調べることが、応力発現のメカニズム解明のために重要である。

cos 法、2D 法はX線回折法を利用した応力測定法である。cos 法は平面応力状態を仮定し、卓上で高速に応力測定が可能であるため、実用性が高い手法である。2D 法は、3次元方向の応力測定が高精度に行える手法である。試料に磁場を印加可能な治具をX線応力測定装置に装着し、2つの手法で残留応力測定を行うことにより、磁場によって誘起された応力を、実用的な観点と高精度という両方の観点で測定可能である。また非破壊かつその場(in situ)の評価が可能である。

本研究では上述した様々な手法で鉄基合金試料の結晶方位、ひずみ、応力の測定・解析等を行い、それらの関係性を考察し、磁場によって誘起された材料の力学的特性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究成果

磁場と応力・ひずみの関係性を調べるため、大きな磁歪効果を示す Fe-Ga 合金単結晶に圧下率が 0% (t1), 5% (t0.95), 15% (t0.85)の圧延加工を施した試料を用意し、磁化・磁歪に及ぼす圧延による塑性変形の影響について調べた。

X線回折による極点図解析により試料内部の単結晶の情報が得られ、また試料の圧下率が高いほど、結晶方位の広がりが見られた。電子線後方散乱回折(EBSD)によって得られる KAM マップにより試料表面のひずみ状態を可視化したところ、図1のように圧下率が高いほどひずみが多く導入されていることがわかった。

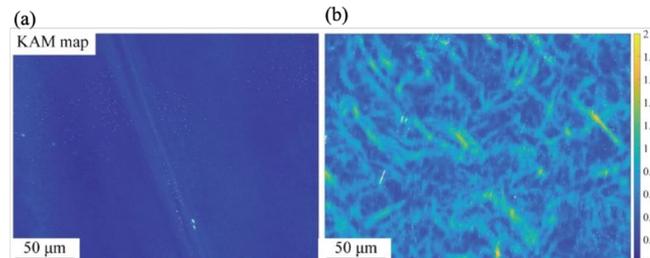


図1：(a)圧下率 0% (t1), (b)圧下率 15% (t0.85)の Fe-Ga 合金のひずみ分布

振動試料型磁力計(VSM)を用いて試料に 397 kA/m の磁場を印加し、磁化測定した結果を図2に示す。圧下率が高いほど磁化が小さくなったことがわかった。これは塑性ひずみの導入によって試料内部の結晶方位がずれ、それに伴って磁区が細分化されたため、磁化の変化が妨げられたためであると考えられる。

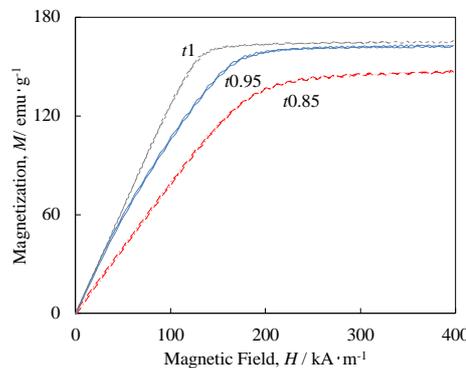


図2：圧下率 0% (t1), 5% (t0.9), 15% (t0.85)の Fe-Ga 合金の磁化曲線

試料に 397 kA/m の磁場を印加して磁歪測定を行った結果を、図3に示す。t0.95 で比較的大きな磁歪が得られ、t0.85 で磁歪が小さくなった。これは塑性ひずみ導入により組織や磁区構造が複雑に細分化し、磁場印加時の磁壁移動が困難となったため、磁歪が低下したと考えられる。t1 の試料は育成したままの試料であるため、磁区構造が不均一となり、磁歪の変化が不均

一になったと考えられる。そのため、圧延した試料とは磁歪の変化が異なっていた。

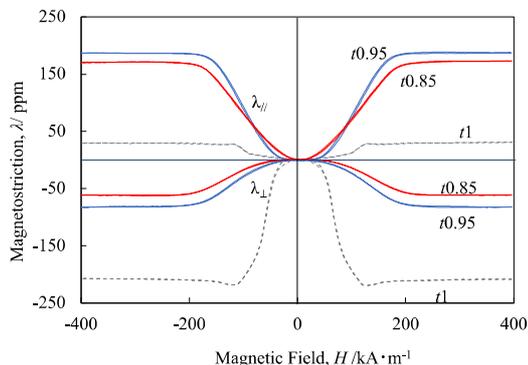


図 3 : 圧下率 0% (t1), 5% (t0.9), 15% (t0.85) の Fe-Ga 合金の磁歪曲線

cos 法を用いて、圧下率が 15% の試料の測定を行った。磁場 (280 kA/m) の有無による応力状態の違いを解析した。プログラミング言語である MATLAB を利用して得られた応力テンソルの行列演算を行い、固有値 (主応力)、固有ベクトルを算出し、応力楕円のプロットを行った。応力楕円の矢印の向きは主応力の種類 (内側矢印が圧縮応力、外側矢印が引張応力) を表し、矢印の方向は主応力の方向を表し、楕円の軸長は主応力の大きさの絶対値を表している。その結果、磁場印加時で磁場印加方向の圧縮応力が減少し、磁場印加方向と垂直の方向の圧縮応力が増加していることがわかった。これは、磁場により試料の体積変化や磁壁の移動が生じ、内部の応力状態が変化していることを示唆している。

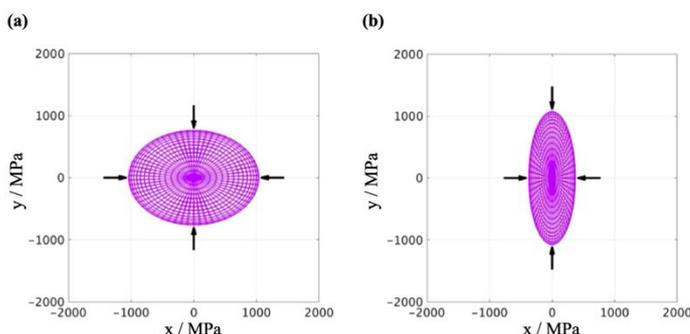


図 4 : (a) 磁場無印加、(b) 280kA/m の磁場印加した、圧下率 15% (t0.85) の Fe-Ga 合金の応力楕円

また 2D 法を用いて、Fe-Co 試料の圧下率の違いによる残留応力を測定した。応力テンソルの行列演算を行い、応力楕円体をプロットした。その結果、圧下率増加に伴い圧延方向および試料面方向に垂直な方向の圧縮残留応力が増加していることがわかった

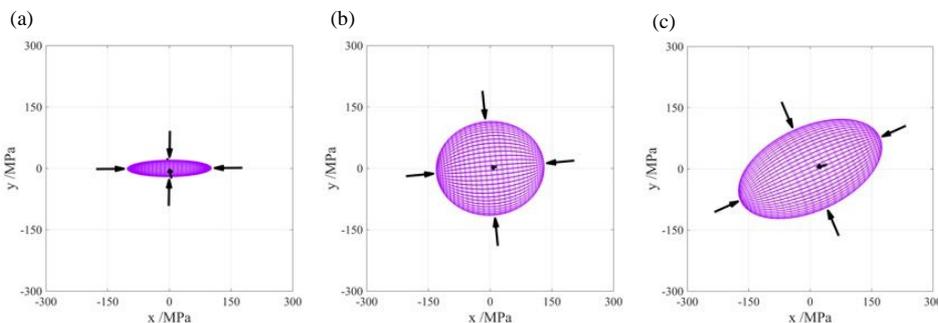


図 5 : 圧下率 (a) 5%、(b) 10%、(c) 15% の Fe-Co 合金の応力楕円体

以上の結果より、試料の圧下率増加により圧縮応力・圧縮ひずみが増大し、それに伴って方位ずれが生じることがわかった。また塑性ひずみによって組織が複雑に細分化され、磁場印加時に磁壁移動が困難となり、磁場印加時のひずみ変化が小さくなる事がわかった。その結果として応力状態が変化することがわかった。本研究では応力・ひずみの状態を等方的であると仮定している。しかし実際には大きな異方性があると考えられるため、今後は試料に振動を付与することによりヤング率の異方性を評価し、応力・ひずみの状態を正しく評価する必要がある。

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chiba Masaki, Tanno Takenori, Abe Maho, Hashi Shuichiro, Ishiyama Kazushi, Kawamata Toru, Umestu Rie Y., Sugiyama Kazumasa, Sato Shigeo, Mochizuki Yosuke, Yatsushiro Koji, Kumagai Tsuyoshi, Fukuda Tsuguo, Tanaka Shun-Ichiro, Suzuki Shigeru	4. 巻 63
2. 論文標題 Magnetic Properties and Substructure of Iron?Gallium Alloy Single Crystals Processed from Ingot to Wafers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 502 ~ 507
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MT-M2021217	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 千葉雅樹、丹野健徳、阿部真帆、石山和志、 柁修一郎、鈴木茂
2. 発表標題 Fe基合金の磁気ひずみに及ぼす塑性ひずみの影響の解析
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
鈴木 茂	(Suzuki Shigeru)
阿部 真帆	(Abe Maho)
丹野 健徳	(Tanno Takenori)