

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820007

研究課題名(和文)2次元応力評価のための平面2軸応力下磁気アコースティックエミッション挙動の解明

研究課題名(英文)Research of Magneto-Acoustic Emission Behavior under Biaxial Plane Stress for 2 Dimensional Stress Evaluation

研究代表者

安部 正高 (ABE, MASATAKA)

京都大学・エネルギー科学研究科・助教

研究者番号：50582623

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：平面2軸圧縮応力下での測定が可能な高性能磁気AE測定システムを構築し、単軸圧縮応力、等2軸圧縮応力および2軸圧縮応力(主応力比1:2)の3つの平面応力状態についてニッケルおよびSM490A鋼を対象に磁気AEの測定を行った。その結果、応力状態によって、応力に対する磁気AE特性の変化挙動、および、印加磁場と主応力方向の成す角度による磁気AE特性の変化挙動が異なることが明らかになった。これにより、印加磁場方向を変化させながら磁気AEを測定することで2次元応力評価が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)： We developed a high-performance Magneto-Acoustic Emission measurement system for biaxial plane stress evaluation. We measured the MAE of Nickel and SM490A under three plane stress state, i.e., 1. uniaxial compression, 2. equibiaxial compression and 3. biaxial compression (principal stress ratio is 1:2). It is found that the dependence of MAE characteristics on the applied magnetic field and stress directions differs according to each plane stress state. In the result, it is shown that the 2 dimensional stress evaluation is possible by measuring MAE with changing the applied magnetic field directions.

研究分野：磁気的非破壊評価

キーワード：応力評価 非破壊評価 磁気AE 物性 平面2軸応力

1. 研究開始当初の背景

鉄などの強磁性体に変動磁場を印加すると、材料内部の磁区構造の変化によって弾性波が発生する。この現象を磁気 AE (Acoustic-Emission) と呼ぶ。磁気 AE の特性がその材料に加えられる応力や磁場によって変化する性質を利用して、応力の非破壊評価手法への適用が提案されている。これまで、磁気 AE の応力依存性、印加磁場周波数依存性などについての報告があるものの、そのほとんどが短冊状試験片において、応力と印加磁場が平行もしくは垂直な場合の単軸応力状態での実験結果に基づくものであった。しかし、実際の非破壊評価においては、応力の強度だけでなくその方向も未知である。さらに応力は単軸とは限らず、機械構造物で多用されている鋼板などにおいては、平面 2 軸応力状態にある。そのため、磁気 AE を用いた応力の非破壊評価法を確立するためには、平面 2 軸応力状態において、任意の方向に磁場を印加した際の磁気 AE 発生挙動を把握する必要がある。

2. 研究の目的

以上のような研究背景より、本研究では**磁気 AE を用いた平面 2 軸応力状態の定量的評価手法の開発**を最終的な目標とし、具体的に以下の目的を設定する。

(1) 単軸応力と印加磁場が任意の角度を成す場合の磁気 AE 特性の応力に対する変化挙動を実験的・理論的に明らかにする。

(2) 種々の平面 2 軸応力条件下において、主応力方向と印加磁場が任意の角度を成す場合の磁気 AE 特性の変化挙動を実験的・理論的に明らかにする。

3. 研究の方法

平面 2 軸応力状態においては、磁気 AE を発生させるために印加する磁場と各主応力が成す角度が重要な影響因子となる。そのため基本的な知見を得るため、単軸応力状態および平面 2 軸応力状態においてそれぞれ以下の方法で研究を行う。

(1) 単軸応力状態

単軸応力方向に対して様々な角度で磁場を印加し、磁気 AE 発生挙動に与える応力と磁場の成す角度の影響について明らかにする。

磁化特性を同時に測定し、磁気弾性結合効果に基づく理論的な考察を行う。

(2) 平面 2 軸応力状態

印加磁場方向を主応力方向に一致させた状態で、種々の平面 2 軸応力条件下での磁気 AE 発生挙動を実験的に明らかにするとともに、2 次元磁化特性も併せて測定し、理論的な考察を行う。

印加磁場方向を主応力方向に対して変化させ、種々の平面 2 軸応力条件下での磁気 AE 発生挙動を明らかにするとともに、2 次元磁化特性を測定し、理論的な考察を行う。

4. 研究成果

まず、本研究ではより高性能・高精度な磁気 AE 測定を行うため、市販の AE 測定システムにバイポーラ電源および電磁石を組み込み、任意の周波数および強度で磁場を印加しながら磁気 AE の AE カウント、実効値や振幅分布、エネルギー分布を測定できる**高性能・高精度測定プログラムおよび測定システムの開発を行った**。また、平面 2 軸応力状態での測定を行うために、新たに**平面 2 軸応力負荷装置(圧縮専用)**を開発した。これらの測定システムを用いて**単軸応力および平面 2 軸応力状態での磁気 AE と磁化特性の測定を行い**、以下のような成果を得た。なお、試験片材料としては Ni および SM490A 鋼を採用した。

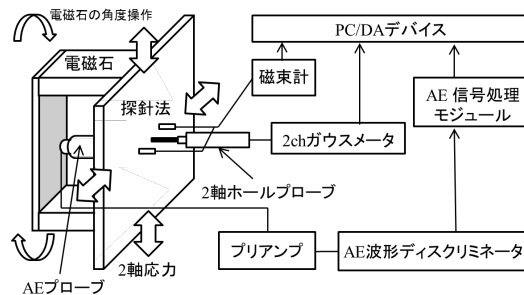


図1 開発した測定システム

(1) 単軸応力状態

平面応力負荷装置用に正方形の平板試験片を作成し、単軸(圧縮)応力状態で、応力と磁場が種々の角度を有する場合について磁気 AE と磁化特性の測定を行った。図2には Ni 試験片において、単軸応力と磁場の印加方向との成す角度を変化させたときに、印加磁場 1 周期間における磁気 AE のピークカウント(単位時間あたりの発生数に対応)を応力に対してプロットしたものを例示する。これらの結果より、によって応力に対して異なる変化挙動を示していることがわかる。すなわち、Ni では圧縮応力が增大すると、応力と磁場が平行、もしくは平行に近い場合には磁気 AE の発生数は一度減少した後飽和傾向を示すが、応力と磁場が垂直、もしくは垂直に近い場合には単調に減少が続く。このように応力に対する磁気 AE 特性の変化挙動が によって異なることから、単軸応力下においては、印加磁場方向を変化させながら磁気 AE を測定することで主応力の大きさおよび、その方向について推測することが可能であることが示された。一方で、このような平板試験片に単軸応力を負荷した場合の磁気 AE 特性の応力依存性は、短冊状試験片について測定した磁気 AE 特性の応力依存性とは異なることが新たに判明した。図 3

には過去の研究で短冊状の Ni 試験片について、応力に対して磁場を平行に印加した時に磁気 AE を測定した結果を示す。縦軸は磁気 AE の印加磁場 1 周期間の発生数であり、横軸は応力である。これまでの測定結果では、Ni において引張応力を加えた際には、応力と磁場が平行な場合には磁気 AE 発生数は減少し、垂直な場合には磁気 AE 発生数は増加した。また、圧縮応力を加えた際には、応力と磁場が平行な場合には磁気 AE 発生数は増加し、垂直な場合にも増加した。すなわち、短冊状の Ni 試験片においては、印加磁場方向によらず、圧縮応力によって磁気 AE 発生数は増加する傾向にあったにも関わらず、平板試験片においては圧縮応力によって磁気 AE 発生数は減少する傾向を示しており、一見すると矛盾した結果となっている。このように短冊状試験片と平板試験片とで磁気 AE の単軸応力に対する変化挙動に相違がみられる原因については、現在まだ調査中であるが、それぞれの試験片形状の違いに起因する磁束分布の相違が大きな影響を与えていると予想される。すなわち、短冊状試験片においては、試験片内部において磁束はほぼ一様かつ平行になっているとみなすことができるが、今回測定したような平板試験片においては、磁極間で閉ループを描くように磁束が分布している。このため、磁束と応力は一定の角度を成してはいない。さらに、磁束の方向についても異なる方向の成分が常に存在することになる。すなわち、印加磁場による試験片中の磁束分布が一様とならない場合については、各方向の磁束成分の磁気 AE 発生挙動への寄与の合成結果として磁気 AE と応力強度、との依存性を考察しなければならないと考えられる。このような磁気 AE 発生挙動モデルの構築と、実験的な検証については今後の課題である。

(2) 平面 2 軸応力状態

平面応力負荷装置用に正方形の平板試験片を作成し、(a)等 2 軸圧縮応力状態 ($\sigma_1 = \sigma_2$) および(b)2 軸圧縮応力状態(主応力比 $\sigma_1 : \sigma_2 = 1:2$)において、主応力 σ_1 と磁場が 0° および 90° を有する場合について磁気 AE と磁化特性の測定を行った。図 4 には主応力 σ_1 と印加磁場の成す角が 0° および 90° の場合の Ni における磁気 AE の測定結果を示す。ここに示したように、単軸応力の場合と比較して、平面 2 軸応力下では磁気 AE は応力に対して非常に大きな依存性を示す。これにより、平板試験片において、**単軸応力状態と平面 2 軸応力状態とを識別することは比較的容易であることがわかった。**また、等 2 軸圧縮応力状態と 2 軸圧縮応力状態(主応力比 1:2)の測定結果を比較すると、等 2 軸圧縮よりも 2 軸圧縮(主応力比 1:2)の方がより大きな応力依存性を持っていることがわかるが、単軸応力に比べてその差は小さく識別はやや困難となることが予想される。また、 $=0^\circ$

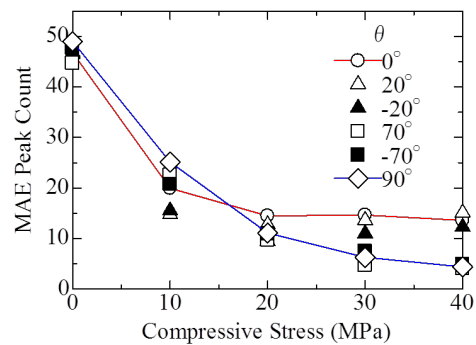


図 2 圧縮応力に対する磁気 AE 発生数変化の磁場印加角度 依存性

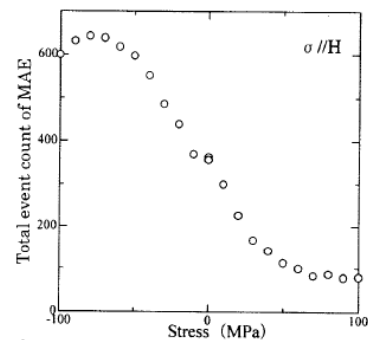
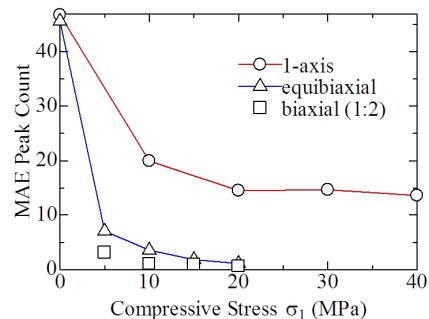
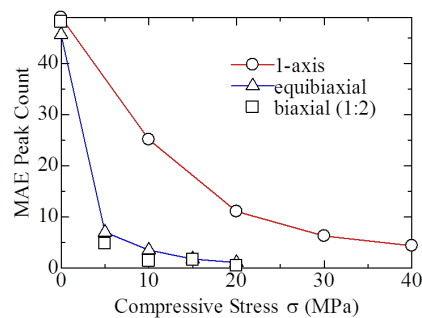


図 3 短冊状試験片における Ni の磁気 AE 発生数の応力依存性の例



(a) $=0^\circ$



(b) $=90^\circ$

図 4 Ni における平面 2 軸応力条件下での磁気 AE 発生数の応力依存性

と 90° の場合の測定結果を比較すると、等 2 軸圧縮はほとんど同じ測定結果だが、2 軸圧縮(応力比 1:2)ではわずかながら応力依存性に差異が認められた。このように、**平面 2 軸応力下においても、印加磁場方向を変化**

させて磁気 AE を測定することで、主応力の強度および方向を推定することが可能であることが示された。現時点では $\theta = 0^\circ$ および 90° の場合のみの測定しか行っていないため、今後はその他の角度の場合も測定することで、平面 2 軸応力状態での印加磁場方向と主応力方向との関係についてもさらにデータを収集する必要がある。

以上のように、**本研究により、印加磁場方向を変化させながら磁気 AE を測定することで、平面 2 軸応力状態での主応力方向およびその強度を推定することが可能であることが初めて示された。**今後は、より細かい印加磁場角度依存性について実験的に調査するとともに、測定した磁化特性および磁気 AE の振幅分布などの解析を進め、今回明らかになった試験片形状による磁束分布の相違による磁気 AE 発生挙動の違いを考慮した、磁気 AE 発生モデルの理論的な考察をおこなっていくことで、磁気 AE を用いた平面 2 軸応力の定量的評価法の確立を目指す。また、現時点では本研究の成果を論文等で発表するまで至っていないが、更にデータを収集したうえで、学会・論文等において詳細に発表していくことも重要な課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特に無し。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安部 正高 (ABE, Masataka)

京都大学大学院エネルギー科学研究科・助教

研究者番号：50582623