115 超音波スペクトロスコピーを用いた転位挙動解析による塑性変形損傷評価

Damage Evaluation of Plastic Deformation due to Dislocation Behavior Analysis by Ultrasonic Spectroscopy

○ 田中 雅大 (北見工大院)

正 三浦 節男 (北見工大)

正・フェロー 小林 道明 (北見工大)

正 柴野 純一 (北見工大)

Masahiro TANAKA, Graduate School of Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho, Kitami

Michiaki KOBAYASHI, Kitami Institute of Technology

Setsuo MIURA, Kitami Institute of Technology

Jun-ichi SHIBANO, Kitami Institute of Technology

Key words: Dislocation, Ultrasonic Spectroscopy, Fatigue Damage, Ultrasonic Velocity

1. 緒言

現在の産業設備の多くは高度経済成長期に建設され、その多くにおいて寿命の限界が来ている。しかし、新規建設は環境的、経済的にも負担が大きく、耐用年数の限界まで使い切ろうとしているのが現状である。そのためには正確な寿命予測が必要不可欠であり、更に設備を稼働させながら、非破壊的に評価する手法が要求されている。著者らのこれまでの研究では材料損傷の原因の大部分を占める金属疲労の非破壊評価を目的として、超音波スペクトロスコピーによる金属疲労損傷評価を行ってきた。金属疲労損傷評価の検討に際しては Granato-Lücke の転位弦理論を用い、異なる三種類の周波数での材料表面を伝搬する表面波の音速の変化を測定し、それを基に金属疲労に伴う転位挙動を求め評価を行ってきた。

また、基礎データを得る目的で単軸引張試験による超音波伝搬時間変化の測定を行い、その結果を基に単軸引張りによる塑性ひずみに伴う可動転位ループの変化を算出した。ここでは単軸引張試験について報告する。

2. 実験装置及び実験方法

試験片材料はアルミニウム合金 A5083、純アルミニウム A1070、マグネシウム合金 AZ31B で、残留応力除去のための焼鈍の工程を経て実験に使用した。

Fig. 1 Structure of acoustic sensor

Fig. 2 Structure of acoustic sensor

図1は表面波速度の測定に用いた超音波センサーの仕組みを示す。図2は AZ31B で用いた縦波センサーの仕組みを示す。マグネシウム試験片は減衰が大きいため表面波で測定することができないので、縦波で超音波伝搬時間を測定した。単軸引張試験では、超音波センサーを試験片の中央部表面にカップラントを介して密着させ、その反対面に標点距離 30mm でクリップゲージを取り付ける。そしてクリップゲージのひずみを基準に測定間隔を段階的にして荷重、ひずみ、超音波伝搬時間を測定した。測定間隔を段階的にしたのは、試験片が塑性変形を始めると試験機の制御が徐々に難しくなるためであり、それに応じて段階的に測定間隔を大きくした。なお、A5083 では三本の試験片に対し、A1070, AZ31B では一本の試験片に対し三種類の周波数を用いて超音波伝搬時間を測定し、三つの測定結果を基に可動転位ループ密度を算出した。

3. 実験結果

3-1 単軸引張試験(AI 試験片 A5083, A1070)

図3, 図4は単軸引張試験において A5083 では 5MHz, 10MHz, 15MHz の、A1070 では 8MHz, 10MHz, 12MHz の各周波数での超音波伝搬時間測定の結果から伝搬速度変化率を算出した結果である。どちらも塑性変形の進行に伴って伝搬速度が増加していることが分かる。

図5, 図6は測定した超音波伝搬時間変化の測定結果から算出した可動転位ループ密度の塑性ひずみの増加に伴う変化である。こちらも A5083, A1070 どちらも同じ傾向を示しており、可動転位ループ密度が塑性ひずみの増加にしたがって減少していく傾向にあった。変形初期では、堆積転位による妨げや他の転位の動き、および増殖による障害が少なく、可動転位ループ密度が大きい値を示した。その後堆積した転位によって転位運動が障害され、可動転位が徐々に減少していったものと考えられる。また A1070 は A5083 と比べ可動転位ループ密度が大きい、これは A1070 の方が介在物が少ないので転位の動きが障害されにくいからだと考えられる。

3-2 単軸引張試験(Mg 試験片 AZ31B)

図7は AZ31B の単軸引張試験において 5MHz, 10MHz, 14MHz の各周波数での超音波伝搬時間測定の結果から伝搬速度変化率を算出した結果である。AI 試験片とは逆に塑性変形の進行に伴い伝搬速度が減少していく傾向にあった。図8は測定した超音波伝搬時間変化の測定結果から算出した可動転位ループ密度の塑性ひずみの増加に伴う変化である。塑性ひずみ 1%程度以降は可動転位ループ密度が増加傾向にあり、この時の速度変化率を見てみると周波数依存性が見られる。これは主に転位の動きやその増加によるすべり変形によって塑性変形が進行していることが考えられる。また、それ

以前では転位よりも双晶や点欠陥などが大きく影響して塑性変形したものと考えられる。そのため、可動転位ループ密度のグラフには塑性ひずみ 1%までは可動転位ループ密度にも明らかな増加傾向は見られず、周波数依存性もはっきりとは見られなかったものと思われる。

4. 結言

著者が提案する超音波スペクトロスコピーを用いた転位挙動解析により、アルミニウム合金 A5083、純アルミニウム A1070、マグネシウム合金 AZ31B の単軸引張試験による損傷評価を行った。その結果以下のことがわかった。A5083、A1070 の単軸引張試験から得られた結果は、どちらも材料の組織変化で説明ができることから妥当であると言える。よって A5083、A1070 においては、この Granato-Lücke の転位弦理論を用いた損傷評価手法は有効であると考えられる。AZ31B の単軸引張試験については、超音波伝搬速度に 관련된可動転位ループ密度の傾向を算出することができたが、結果の説明は確証を得難い。今後、マグネシウム試験片を種々の実験方法で確認し、結果を追求していくと共に、マグネシウムにおいて本研究の損傷評価手法が有効であるかを検討していくことが必要である。

謝辞

北見工業大学大学院卒 滝口真悟氏には本研究を遂行する上でご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Granato, A. and Lücke, K, Theory of Mechanical Damping Due to Dislocations, J. Appl. Phys, 27-6 (1956), 346-353.
- (2) 小林道明・他 4 名, 音弾性効果と組織音響効果の周波数依存性, 日本機械学会論文集(A 編), 65-636, (1999), 1747-1755

Fig.3 Velocity changes of ultrasonic waves(A5083)

Fig.4 Velocity changes of ultrasonic waves(A1070)

Fig.5 Movable dislocation loop density(A5083)

Fig.6 Movable dislocation loop density(A1070)

Fig.7 Velocity changes of ultrasonic waves(AZ31B)

Fig.8 Movable dislocation loop density(AZ31B)